# はじめに

みなさん，こんにちは。

みなさんは，化学に対してどのようなイメージがありますか。

「覚えることが多そう」「化学式がよくわからない」「モルや濃度の計算が理解できない」など，ネガティブなイメージを持っている人も少なくないのではないでしょうか。

「ベーシックレベル化学」は，そんなネガティブなイメージを払拭できる講座です。講義の中で基本的なことをしっかりと扱い，知っておくべきこと，考え方をしっかりと話しています。

まずは受講し，そのテーマが理解できたら，手を動かして問題を解いてみましょう。それを繰り返していくと，きっと化学に対するネガティブなイメージは消え，化学の問題が解けるようになっているはずです。

みなさんが化学を楽しんで学び，夢を叶えていくことができるよう応援しています。

坂田　薫

# 講義の受け方

## 受講対象

主に「化学」を初めて学ぶ人

## 講座の構成

各 PART は「講義」「演習問題」「確認テスト」で構成されています。

- **講義**　基本的な知識や重要事項を短い動画で学びます。
- **演習問題**　短い動画を見て，講師と一緒に問題を解きましょう。
- **確認テスト**　授業で学んだ内容を，異なる問題で復習しましょう。

## 学習の流れ

- **予習**　基本的に不要です。
- **授業**　「講義」と「演習問題」の動画で学びましょう。
- **復習**　授業で学んだ内容を，確認テストで復習しましょう。

## テキストの使い方

テキストは重要なところを穴埋め形式にしてあります。授業を受けながら，色ペンなどで埋めていき，復習の際にはそこを中心に確認していくとよいでしょう。

## < Note >

# 目次


第1講 固体の構造
- PART1 金属結晶①
- PART2 金属結晶②
- PART3 イオン結晶
- PART4 共有結合の結晶
- PART5 分子結晶

第2講 物質の状態変化
- PART1 状態変化

第3講 気体
- PART1 気体①
- PART2 気体②
- PART3 気体③
- PART4 混合気体
- PART5 気体の計算練習
- PART6 飽和蒸気圧と気体の計算練習
- PART7 理想気体と実在気体

第4講 溶液
- PART1 溶解と濃度
- PART2 固体の溶解度
- PART3 気体の溶解度①
- PART4 気体の溶解度②
- PART5 希薄溶液の性質① 蒸気圧降下・沸点上昇
- PART6 希薄溶液の性質② 凝固点降下・冷却曲線
- PART7 希薄溶液の性質③浸透圧
- PART8 コロイド

第5講 化学反応と熱・光エネルギー (熱化学)
- PART1 熱化学の基本事項
- PART2 反応エンタルピーを求める実験
- PART3 ヘスの法則を利用した計算
- PART4 エンタルピー図・公式
- PART5 熱化学の計算練習
- PART6 化学反応が進む向き 化学反応と光

第6講 化学反応と電気エネルギー
- PART1 ダニエル電池・ファラデーの法則
- PART2 鉛蓄電池・燃料電池
- PART3 電気分解の基本
- PART4 電気分解の工業的利用
- PART5 電気分解の計算

第7講 反応速度
- PART1 化学反応の仕組み・反応速度を決める要素
- PART2 濃度と反応速度

第8講 化学平衡
- PART1 平衡定数
- PART2 ルシャトリエの原理
- PART3 工業的製法とルシャトリエの原理
- PART4 水のイオン積・強酸強塩基のpH
- PART5 弱酸・弱塩基の電離平衡

PART6 緩衝液・塩の加水分解
PART7 電離平衡の問題演習
PART8 溶解度積
PART9 溶解度積の応用

第１講　固体の構造
# PART1　金属結晶①

目標　・結晶とは何かを正確に理解し，単位格子の考え方をマスターしよう！

## Chapter1　結晶と単位格子

要点

結晶と単位格子

・結晶　　　：粒子が規則正しく配列した固体

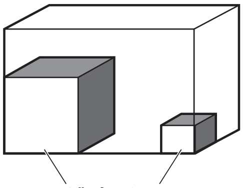
・単位格子：結晶構造の最小の繰り返し単位

### ◆ 結晶

粒子が規則正しく配列した固体を**結晶**という。

粒子が規則正しく配列しているため，

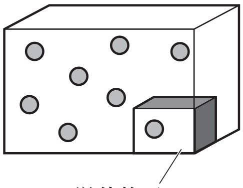
どんな大きさでも濃度は同じである。




### ◆ 単位格子　重要

結晶構造の最小の繰り返し単位を**単位格子**という。

結晶構造を考えるときは，単位格子に注目していく。




単位格子がどこかわからないときは，次の条件を満たす部分を探してみよう！

・六面体である

・全ての頂点に同じ粒子が配列している

まとめ

・粒子が規則正しく配列した固体を（　　　　　　）という。

・結晶を考えるときは，最小の繰り返し単位である（　　　　　　）に注目する。

# Chapter2　金属結合と金属結晶

**要点**

金属結合と金属結晶

金属結合：金属の陽イオンと自由電子による結合

金属結晶：金属結合による結晶

配位数（最近接粒子数）：1 個の粒子に接している粒子の数

## ◆ 金属結合と金属結晶

金属の陽イオンと自由電子による結合を**金属結合**という。

そして，金属結合によってできる結晶が**金属結晶**である。

基本的に，金属の単体が金属結晶である。

## ◆ 配位数（最近接粒子数） 重要

1 個の粒子に接している粒子の数を，**配位数**または**最近接粒子数**という。

配位数の最大値は 12 であり，配位数 12 の結晶構造を**最密構造**という。

## ◆ 金属結晶と配位数

金属の陽イオンが近くに集まっているほうが，自由電子が陽イオンをつなぎ止めやすくなるため，陽イオンが集まった構造になりやすい。すなわち，金属結晶は配位数の大きい構造になる。

具体的には，配位数 12（最大値）と 8 のどちらかの構造となる。

**まとめ**

・1 個の粒子に接している粒子の数を（　　　　　）または（　　　　　　　　　）といい，金属結晶では，この数が（　　　　　）なりやすい。

# Chapter3　体心立方格子

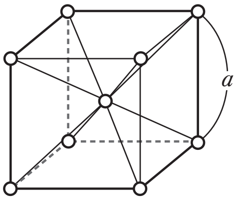
**要点**

**体心立方格子**

配位数　：8　　粒子数：2

原子半径：$r=\dfrac{\sqrt{3}}{4}a$　　充填率：68%

密度　：$\dfrac{\dfrac{M}{N_A}\times 2}{a^3}$

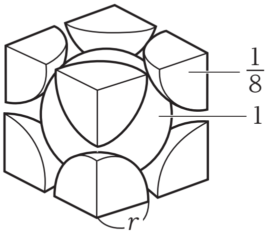


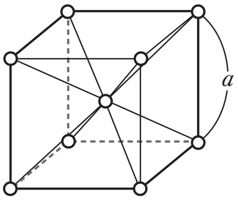

## ◆ 体心立方格子　重要

立方体の中心（体心）と頂点に金属原子が配列している単位格子を**体心立方格子**という。

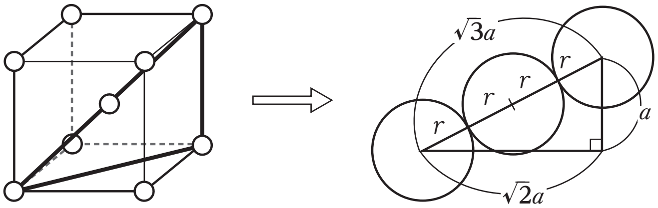
・**配位数：8**

・粒子数：$\dfrac{1}{8}\times 8+1=2$




・原子半径：$r=\dfrac{\sqrt{3}}{4}a$




・充填率（単位格子内で原子の体積が占めている割合）

$$\frac{原子\ \mathrm{cm}^3}{格子\ \mathrm{cm}^3}=\frac{\frac{4}{3}\pi r^3\times 2}{a^3}=\frac{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a\right)^3\times 2}{a^3}=\frac{\sqrt{3}}{8}\pi=0.6798\cdots\Rightarrow \underline{\underline{68\%}}$$

（$\frac{4}{3}\pi r^3$：原子(球)の体積、$\times 2$：粒子数、$a^3$：立方体の体積、$r=\frac{\sqrt{3}}{4}a$ を代入）

・密度（$M$：原子量，$N_A$：アボガドロ定数）

$$\frac{\text{格子 g}}{\text{格子 cm}^3} = \frac{\frac{M}{N_A} \times 2}{a^3}$$

まとめ

・立方体の中心と頂点に金属原子が配列している単位格子を（　　　　　　　　）という。

・配位数は（　　　），粒子数は（　　　）である。

## Chapter4　演習問題

問　ある金属の結晶は，一辺の長さが $4.3 \times 10^{-8}$cm の体心立方格子の構造で，密度が 0.96(g/cm$^3$)である。この金属の原子量を求めなさい。
ただし，$(4.3)^3=79.5$，アボガドロ定数 $N_A=6.0 \times 10^{23}$(/mol)とする。

# 第1講　PART1　確認問題

問 1　粒子が規則正しく配列した固体を結晶といい，結晶構造の最小の繰り返し単位を単位格子という。単位格子は（　ア　）であり，かつ全ての頂点に同じ粒子が配列している。

また，1 個の粒子に接している粒子の数を配位数または最近接粒子数といい，配位数（　イ　）の結晶構造を最密構造という。金属の陽イオンと自由電子による金属結合によってできる金属結晶では，配位数が（　ウ　）なりやすく，配位数 12 か（　エ　）のどちらかの構造をとる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　四面体　　②　六面体
③　八面体　　④　十二面体

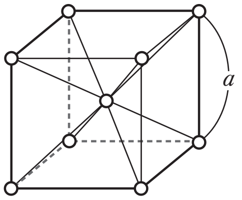
(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　8　　②　10
③　12　　④　14

(3)　文中の（　ウ　），（　エ　）に当てはまる語句と数の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ウ：大きく　　エ：8
②　ウ：大きく　　エ：10
③　ウ：小さく　　エ：8
④　ウ：小さく　　エ：10

**問 2**　次の図は，体心立方格子の単位格子である。体心立方格子の配位数，粒子数，原子半径として最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。ただし，単位格子の一辺の長さを $a$ とする。




(1)　配位数

①　4　　②　8

③　10　　④　12

(2)　粒子数

①　2　　②　4

③　6　　④　8

(3)　原子半径

①　$\dfrac{\sqrt{2}}{4}a$　　②　$\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$

③　$\dfrac{\sqrt{3}}{4}a$　　④　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}a$

# PART2　金属結晶②

目標
・最密構造（面心立方格子・六方最密構造）について基本事項が答えられるようになろう！

## Chapter1　面心立方格子

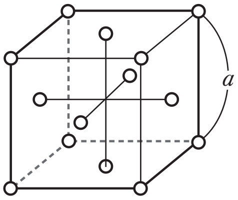
要点

面心立方格子

配位数　：12　　粒子数：4

原子半径：$r = \dfrac{\sqrt{2}}{4}a$　　充填率：74%

密度　：$\dfrac{\dfrac{M}{N_A} \times 4}{a^3}$

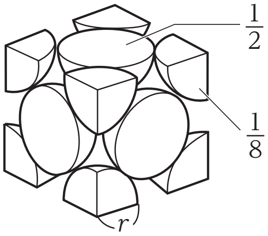


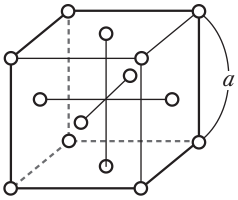

### ◆ 面心立方格子　重要

立方体の面の中心（面心）と頂点に金属原子が配列している単位格子を**面心立方格子**という。

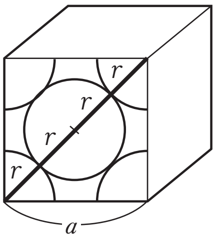
・**配位数：12（最大配位数）**

・粒子数：$\dfrac{1}{8} \times 8 + \dfrac{1}{2} \times 6 = 4$




・原子半径：$r = \dfrac{\sqrt{2}}{4}a$



・充填率（単位格子内で原子の体積が占めている割合）

（原子(球)の体積：$\frac{4}{3}\pi r^3$，粒子数：4，立方体の体積：$a^3$，$r=\frac{\sqrt{2}}{4}a$ を代入）

$$\frac{\text{原子 cm}^3}{\text{格子 cm}^3}=\frac{\frac{4}{3}\pi r^3\times 4}{a^3}=\frac{\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}a\right)^3\times 4}{a^3}=\frac{\sqrt{2}}{6}\pi=0.740\cdots\Rightarrow 74\%$$

・密度（$M$：原子量，$N_A$：アボガドロ定数）

$$\frac{\text{格子 g}}{\text{格子 cm}^3}=\frac{\frac{M}{N_A}\times 4}{a^3}$$

**まとめ**

・立方体の面の中心と頂点に金属原子が配列している単位格子を（　　　　　　　　）という。

・配位数は（　　　　），粒子数は（　　　）である。

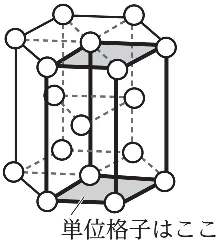
# Chapter2　六方最密構造

**要点**

六方最密構造

配位数　：12　　　　粒子数：６（単位格子では２）

原子半径：$r=\frac{1}{2}a$　　　　充填率：74%

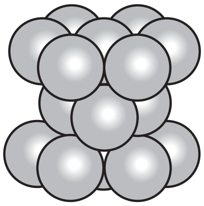


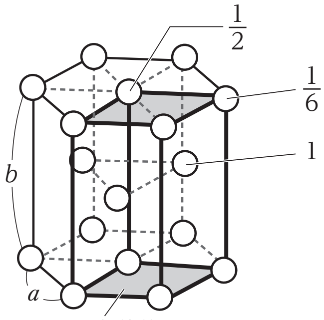

## ◆ 六方最密構造

六角柱の内部と頂点に金属原子が配列している最密構造を**六方最密構造**という。六角柱の３分の１が単位格子に相当していることを，しっかり確認しておこう。

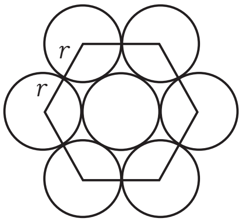
・**配位数：12（最大配位数）**

・粒子数：$\frac{1}{6}\times 12+\frac{1}{2}\times 2+1\times 3=6$（単位格子は２）






・原子半径：$r = \dfrac{1}{2}a$




・充填率：74%（最密構造なので面心立方格子と同じ）

**まとめ**

・六角柱の内部と頂点に金属原子が配列している最密構造を（　　　　　　　　）という。

・配位数は最大値の（　　　　），単位格子に含まれる粒子数は（　　　）である。

# Chapter3　演習問題

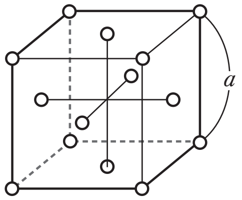
**問**　銅の結晶は，一辺の長さが $3.6 \times 10^{-8}$cm の面心立方格子の構造である。銅の密度 ($g/cm^3$) を求めなさい。

ただし，$(3.6)^3=46.7$，Cu の原子量 63.5，アボガドロ定数 $N_A=6.0 \times 10^{23}$(/mol)，$\sqrt{2}=1.4$ とする。

< Note >

# 第1講　PART2　確認問題

問 1　次の図は，面心立方格子の単位格子である。面心立方格子の配位数，粒子数，原子半径として最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。ただし，単位格子の一辺の長さを $a$ とする。




(1)　配位数

①　4　　②　8

③　10　　④　12

(2)　粒子数

①　2　　②　4

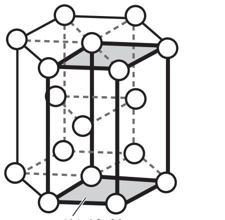
③　6　　④　8

(3)　原子半径

①　$\dfrac{\sqrt{2}}{4}a$　　②　$\dfrac{\sqrt{2}}{2}a$

③　$\dfrac{\sqrt{3}}{4}a$　　④　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}a$

**問2**　次の図は，六方最密構造の模式図である。六方最密構造の配位数は（　ア　），粒子数は（　イ　）である。また，六方最密構造では，六角柱の３分の１が単位格子に相当していることから，単位格子中に含まれる粒子数は（　ウ　）である。




⑴　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　4　　②　8
③　10　　④　12

⑵　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　3　　②　6
③　9　　④　12

⑶　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1　　②　2
③　3　　④　4

# PART3　イオン結晶

目標　・イオン結晶の結晶格子の種類と考え方をマスターしよう！

## Chapter1　イオン結合とイオン結晶

要点

イオン結合とイオン結晶

イオン結合：陽イオンと陰イオンの間に働く静電気力（クーロン力）による結合

イオン結晶：イオン結合による結晶

### ◆ イオン結合とイオン結晶

陽イオンと陰イオンの間に働く静電気力（クーロン力）による結合を**イオン結合**という。通常，金属原子と非金属原子の結合がイオン結合である。例外　アンモニウム塩

そして，イオン結合によってできる結晶が**イオン結晶**である。

### ◆ イオン結晶と配位数

陽イオンは多くの陰イオンに囲まれて安定するため，基本的にイオン結晶の配位数は大きくなる。しかし，陽イオンと陰イオンの大きさが異なるため，最大配位数の 12 をとることはできない。配位数８・６などの結晶構造をつくる。

まとめ

・陽イオンと陰イオンの間に働く（　　　　　　　　　　）による結合をイオン結合という。

・イオン結晶は配位数が（　　　）や（　　　）などの結晶構造をつくる。

# Chapter2　塩化セシウムCsCl型

要点

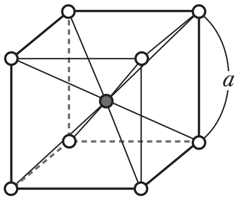
塩化セシウム CsCl 型

配位数　　：８

粒子数　　：CsCl １個分

イオン半径：$2(r_{+}+r_{-})=\sqrt{3}a$

（$r_{+}$ ＝陽イオンの半径，$r_{-}$＝陰イオンの半径）

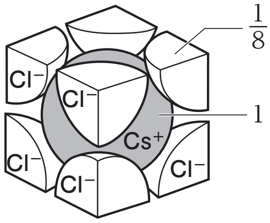


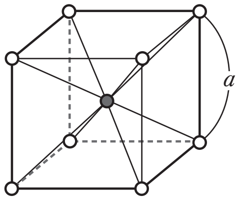

## ◆ 塩化セシウムCsCl型

イオン結晶の中では最大の配位数８となるものを**塩化セシウム CsCl 型**という。

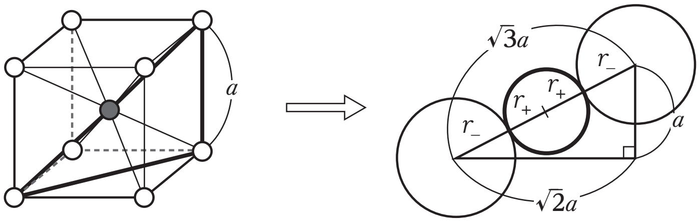
・**配位数：８**

・粒子数：$Cs^{+}$ イオン　１個　，　$Cl^{-}$イオン　$\frac{1}{8}\times 8=1$ 個　　合計 CsCl が１個分




・イオン半径：$2(r_{+}+r_{-})=\sqrt{3}a$




・密度（$M$：CsCl の式量，$N_A$：アボガドロ定数）

$$\frac{\text{格子 g}}{\text{格子 cm}^3}=\frac{\frac{M}{N_A}\times 1}{a^3}$$

まとめ

・イオン結晶の中で最大の配位数８をとる結晶構造を（　　　　　　　　　　　）という。

・単位格子に含まれる粒子数は CsCl（　　　）個分である。

# Chapter3　塩化ナトリウムNaCl型

要点

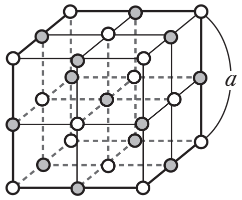
塩化ナトリウム NaCl 型

配位数　　：6

粒子数　　：NaCl 4 個分

イオン半径：$2(r_+ + r_-) = a$

（$r_+$ ＝陽イオンの半径，$r_-$ ＝陰イオンの半径）

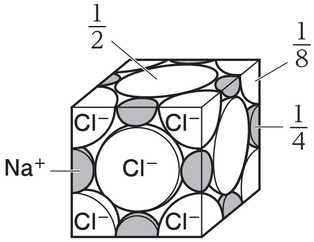


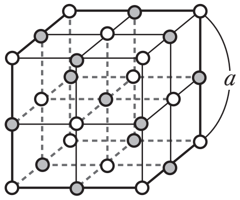

## ◆ 塩化ナトリウムNaCl型 重要

配位数６のイオン結晶の構造を塩化ナトリウム NaCl 型という。

単位格子に注目すると，陰イオンでできている面心立方格子のすき間に陽イオンが配列した構造である。

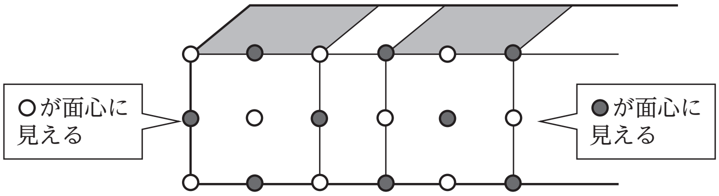
・**配位数：6**



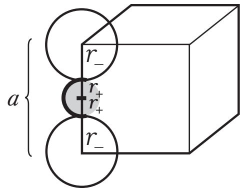




・粒子数：$Na^+$ イオン（面心立方格子）４個，$Cl^-$イオン（面心立方格子）４個　合計 NaCl が４個分

注意 陽イオン，陰イオンともに面心立方格子である




・イオン半径：$2(r_+ + r_-) = a$




・密度（$M$：NaCl の式量，$N_A$：アボガドロ定数）

$$\frac{格子\,g}{格子\,cm^3} = \frac{\frac{M}{N_A} \times 4}{a^3}$$

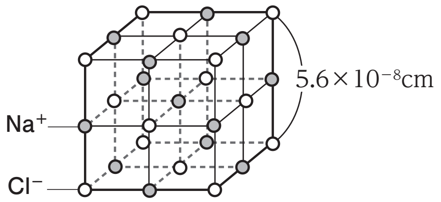
まとめ

・配位数６のイオン結晶の構造を（　　　　　　　　　　　　）という。
・陽イオンは（　　　　　　）格子，陰イオンは（　　　　　　）格子の配列となっており，単位格子に含まれる粒子数は NaCl（　　　）個分である。

## Chapter4　演習問題

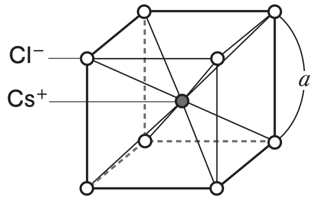
**問**　塩化ナトリウム(式量 58.5)の結晶は，一辺の長さが $5.6 \times 10^{-8}$cm の図のような構造である。密度(g/cm$^3$)を求めなさい。

ただし，$(5.6)^3=1.8 \times 10^2$，アボガドロ定数 $N_A=6.0 \times 10^{23}$(/mol)とする。



# 第 1 講　PART3　確認問題

問 1　陽イオンと陰イオンの静電気力（クーロン力）による結合を(a)<u>イオン結合</u>といい，イオン結合でできた結晶をイオン結晶という。陽イオンと陰イオンは大きさが異なるため，イオン結晶では最大配位数の 12 をとることができない。例えば，図のような塩化セシウム CsCl 型の結晶構造は，イオン結晶の中で最大の配位数（　ア　）をとり，単位格子中に（　イ　）個分の塩化セシウムの粒子が含まれている。




(1)　文中の下線部(a)について，イオン結合は，通常，どのような原子の間で形成されることが多いか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　金属原子同士　　② 非金属原子同士

③　金属原子と非金属原子

(2)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　4　　②　6

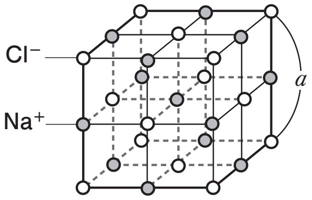
③　8　　④　10

(3)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1　　②　2

③　4　　④　8

問 2　次の図は，塩化ナトリウム NaCl 型の結晶構造である。陽イオン，陰イオンともに（　ア　）で，配位数は（　イ　），単位格子中に（　ウ　）個分の塩化ナトリウムの粒子が含まれている。




(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　体心立方格子　　②　面心立方格子
③　六方最密構造

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　4　　②　6
③　8　　④　10

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1　　②　2
③　4　　④　8

# PART4　共有結合の結晶

目標
・代表的な共有結合の結晶であるダイヤモンド型の考え方を中心にマスターしよう！

## Chapter1　共有結合と共有結合の結晶

要点

共有結合と共有結合の結晶

共有結合　　　　：非金属原子間で電子対を共有する結合

共有結合の結晶：共有結合のみでできている結晶

### ◆ 共有結合と共有結合の結晶

非金属原子間で電子対を共有する結合を**共有結合**という。共有結合は，電気陰性度の大きい非金属同士の結合のため，非常に強い結合である。

そして，共有結合のみでできている結晶が**共有結合の結晶**である。覚えておくべき物質は以下の５つのみであるため，しっかりと頭に入れておこう。

主な共有結合の結晶　**ダイヤモンド・ケイ素・二酸化ケイ素・炭化ケイ素・黒鉛**

### ◆ 共有結合の結晶と配位数

共有結合は最外殻の電子対を共有してできるため，配位数は最大で４である。黒鉛のみが配位数３の構造をとる。

まとめ

・非金属原子間で（　　　　　）を共有する結合を共有結合という。

・主な共有結合の結晶には（　　　　　　　　）・（　　　　　）・（　　　　　　　　）・（　　　　　　　）・（　　　　）の５つがある。

# Chapter2　ダイヤモンド型

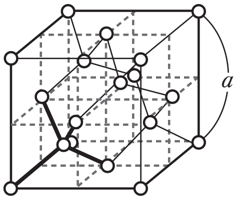
要点

ダイヤモンド型

配位数　：4

粒子数　：8

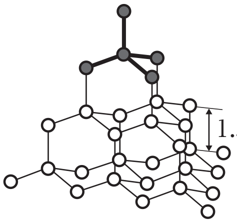
原子半径：$r = \frac{\sqrt{3}}{8}a$

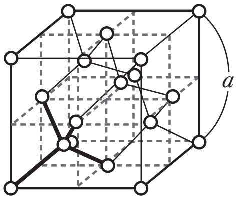



## ◆ ダイヤモンド型　重要

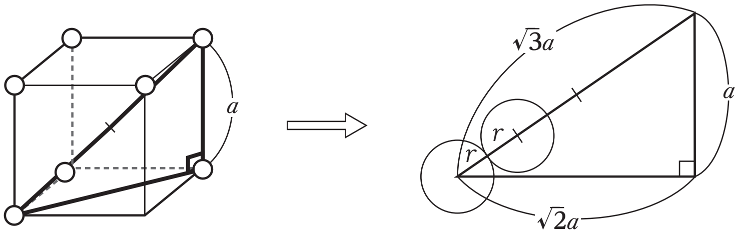
黒鉛以外の共有結合の結晶を**ダイヤモンド型**という。

- **配位数：4**
- 粒子数：$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 + 1 \times 4 = 8$




- 原子半径：$r = \frac{\sqrt{3}}{8}a$




まとめ

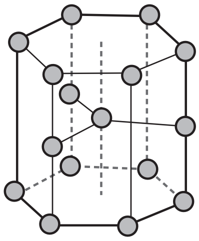
・共有結合の結晶のダイヤモンド型は配位数（　　　），単位格子に含まれる粒子数は（　　　）である。

# Chapter3　黒鉛

要点

黒鉛

配位数：３

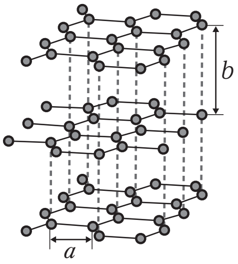


## ◆ 黒鉛

黒鉛は共有結合の結晶のなかでは特殊な構造となる。

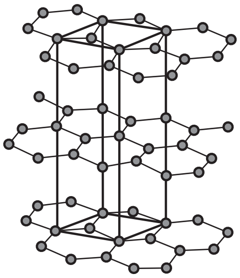
図のような層状構造で，配位数は３。層と層の間はファンデルワールス力で結びついているため，**剥がれやすい**。

また，平面上を自由に動く電子があるため，**電気を通す**性質をもつ。




$a = 1.4 \times 10^{-8}$cm
$b = 3.4 \times 10^{-8}$cm

単位格子は右図の太線で囲んだ四角柱になるが，構造をとらえるときには六角柱を取り出して考えるとわかりやすい。



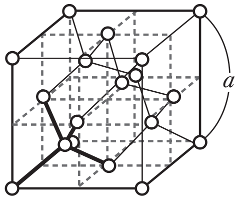
まとめ

・黒鉛は配位数（　　　）の平面層状構造の結晶である。

・平面上を自由に動く電子があるため，（　　　　　　　）性質をもつ。

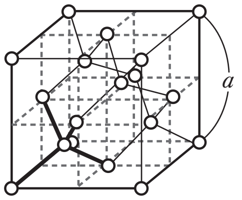
# Chapter4　演習問題

**問**　ダイヤモンドの結晶は図のような単位格子である。一辺の長さを $a$(cm)としたとき，炭素原子の半径はどのように表されるか。



# 第1講 PART4 確認問題

問1 非金属原子間で電子対を共有する結合を共有結合といい，共有結合のみでできている結晶を共有結合の結晶という。代表的な共有結合の結晶には，ダイヤモンド，ケイ素，二酸化ケイ素，黒鉛，（ ア ）の５つがある。黒鉛以外の共有結合の結晶は，ダイヤモンド型といい，図のような単位格子をもつ。ダイヤモンド型では配位数が（ イ ）で，単位格子中に（ ウ ）個分の粒子が含まれている。




(1) 文中の（ ア ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① マグネシウム　　② ヨウ素
③ ケイ酸ナトリウム　　④ 炭化ケイ素

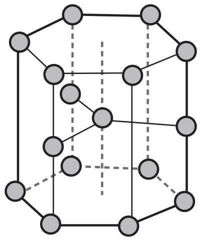
(2) 文中の（ イ ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 2　　② 3
③ 4　　④ 5

(3) 文中の（ ウ ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 2　　② 4
③ 6　　④ 8

問２　黒鉛は配位数（　ア　）で，図のような平面層状構造の結晶である。層と層の間はファンデルワールス力で結びついているため（　イ　），平面上を自由に動く電子があるため，電気を（　ウ　）性質をもつ。



⑴　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　2　　②　3

③　4　　④　5

⑵　文中の（　イ　），（　ウ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　イ：剝がれにくく　　ウ：通す

②　イ：剝がれにくく　　ウ：通さない

③　イ：剝がれやすく　　ウ：通す

④　イ：剝がれやすく　　ウ：通さない

# PART5　分子結晶

目標　・氷の結晶構造やその他分子結晶の構造をしっかりと確認しておこう！

## Chapter1　分子間力と分子結晶

要点

分子間力と分子結晶

分子間力：分子間に働く引力の総称

例　ファンデルワールス力や水素結合など

分子結晶：分子間力によって分子が多数集まってできる結晶

### ◆ 分子間力と分子結晶

分子間に働く引力を総称して**分子間力**という。共有結合やイオン結合のような原子間の結合に比べると非常に弱い。

そして，分子間力によって分子が多数集まってできる結晶が**分子結晶**である。非金属元素のみからできていて，共有結合の結晶の５つ（ダイヤモンド・ケイ素・二酸化ケイ素・炭化ケイ素・黒鉛）以外はすべて分子結晶となると考えてよい。

### ◆ ファンデルワールス力　重要

どんな分子の間にも働く弱い引力を**ファンデルワールス力**という。

特性

・分子量が大きいほど強く，融点や沸点が高くなる

・分子量が同じときは，分子の形が球状に近いほど弱い

極性分子は極性による引力も働くため，分子量が同程度の無極性分子よりファンデルワールス力が強くなる。

### ◆ 水素結合　重要

フッ素 F 原子，酸素 O 原子，窒素 N 原子（以下，まとめて X 原子）と水素 H 原子の間には大きな極性を生じる。これにより，X−H 結合を分子内にもつ分子は，分子間にファンデルワールス力よりも強い結合を生じる。これを**水素結合**という。（分子内にできる水

素結合もある）

分子間に水素結合をもつ分子は，もたない分子に比べて融点や沸点が高くなる。

まとめ

・分子間力で分子が多数集まってできる結晶を（　　　　　　）という。

・分子間力には, どんな分子間にも働く弱い力である (　　　　　　　　　　　)や, 分子内に（　　　　　）・(　　　　)・(　　　　）原子と水素原子の結合をもつ分子間に働く（　　　　　）がある。

# Chapter2　その他分子結晶の構造と性質

要点

分子結晶の構造

金属の面心立方格子のような構造をもつものがある

## ◆ 分子結晶の構造

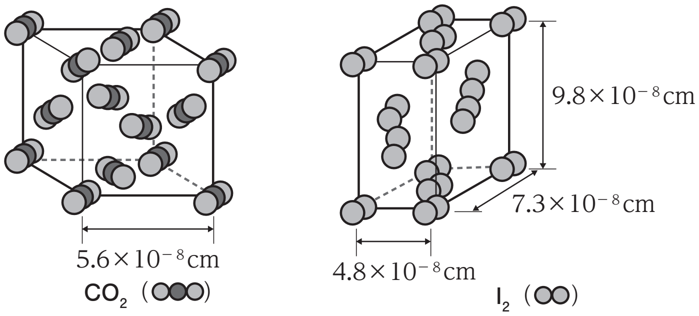
分子間力は弱いため，分子結晶は

・やわらかく，融点が低い

・ヨウ素 $I_2$，二酸化炭素 $CO_2$，ナフタレン $C_{10}H_8$ のように昇華性をもつものがある

また，下に示すように，金属の面心立方格子のような結晶構造のものがある。金属原子が配列されていた部分に分子が配列されていると考えて対応しよう。

分子結晶の例




まとめ

・分子結晶は結合力の弱い分子間力でできているため，やわらかく，融点が（　　　　）。(　　　　　）をもつものも多い。

# Chapter3　氷の結晶構造

**要点**

氷の結晶構造の特徴

正四面体のすき間の多い構造

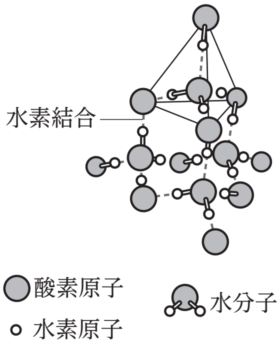
→液体より固体のほうが体積が大きく，密度が小さい

## ◆ 氷の結晶構造 重要

一般的な物質は，固体より液体のほうが体積は大きく，密度は小さい。

しかし，$H_2O$ は固体より液体のほうが体積が小さく，密度が大きい。

分子間の水素結合により，正四面体のすき間の多い構造をとるためである。




**まとめ**

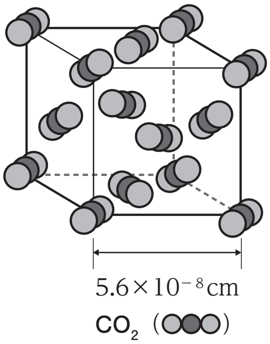
・氷の結晶は分子間の（　　　　　）により，（　　　　　）のすき間の多い構造である。

そのため，水は氷に比べて体積は（　　　　），密度は（　　　　）。

# Chapter4　演習問題

問　二酸化炭素 $CO_2$ の結晶（ドライアイス）は図のような単位格子である。

一辺の長さが $5.6 \times 10^{-8}$(cm)，$CO_2$ 分子の分子量が 44，アボガドロ定数 $N_A$ が $6.0 \times 10^{23}$(/mol)，$(5.6)^3=176$ として，密度(g/cm$^3$) を求めなさい。



< Note >

# 第１講　PART5　確認問題

問１　分子間に働く引力を総称して分子間力という。ファンデルワールス力は分子間力の１つで，どんな分子の間にも働き，分子量が（　ア　）ほど強く，融点や沸点が（　イ　）なる。分子量や分子の極性が同じときは，分子の形が（　ウ　）に近いほどファンデルワールス力は弱い。

また，水素結合も分子間力の１つであり，(a)X−H 結合（大きな極性の生じるある X 原子と H 原子の結合）を分子内にもつ分子間に働き，ファンデルワールス力よりも強い結合である。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：小さい　　イ：高く
②　ア：小さい　　イ：低く
③　ア：大きい　　イ：高く
④　ア：大きい　　イ：低く

(2)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　直線状　　②　球状
③　正四面体状　　④　三角錐状

(3)　文中の下線部(a)について，X−H 結合に該当しないものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　C−H 結合　　②　N−H 結合
③　O−H 結合　　④　F−H 結合

⑷　分子間に水素結合をもつ分子は，もたない分子に比べると融点や沸点はどうなるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　高くなる　　②　低くなる　　③　同じになる

問２　分子間力によって分子が多数集まってできる結晶を分子結晶という。分子結晶は（　ア　），融点が低い。また，昇華性をもつものがある。

分子結晶の１つに氷の結晶があり，氷の結晶は水素結合によって（　イ　）のすき間の多い構造をしていることから，同じ質量の液体の水に比べて体積は（　ウ　）。つまり，密度は（　エ　）。

⑴　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　かたく　　②　やわらかく

⑵　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　正三角形　　②　三角錐

③　正四面体　　④　正八面体

⑶　文中の（　ウ　），（　エ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ウ：大きい　　エ：大きい

②　ウ：大きい　　エ：小さい

③　ウ：小さい　　エ：大きい

④　ウ：小さい　　エ：小さい

第 2 講　物質の状態変化

# PART1　状態変化

目標　・状態変化と状態図をしっかりと理解しよう！

## Chapter1　状態変化とエネルギー

要点

状態変化とエネルギー

物質の状態は「粒子間の引力」と「熱運動の激しさ」の大小関係で決まる。

### ◆ 状態変化とエネルギー

粒子（以下，分子で考える）には，「引力（分子間力)」すなわち「引き合おうとする力」が常に働く。同時に，温度に応じた熱運動により「動き回ろうとする力」も働いている。

この相反する力の大小関係で物質の状態は決まっていく。

**・引力（分子間力）**

物質固有のものであり，常に一定値である。しかし，粒子（分子）が離れていると引力は働きにくく，粒子（分子）が近づくと働きやすくなる。粒子（分子）の距離を左右する一つは圧力である。

**・熱運動の激しさ**

熱運動は温度が高いほど激しくなる。

以上より，物質の状態は「温度」と「圧力」で決まることがわかる。

まとめ

・物質の状態は（　　　　）と（　　　　）で決まる。

# Chapter2　気体が運動する速さ

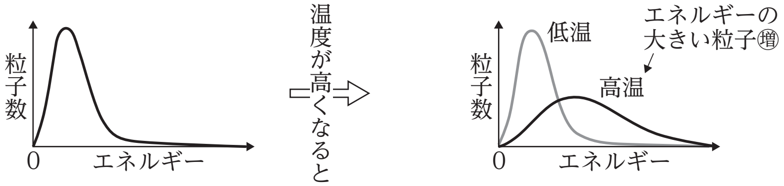
## ◆ 気体の運動エネルギー

分子間の引力を完全に振り切って自由に運動している状態が，気体である。これら気体の分子は，同じ環境（同じ温度）に存在していても，運動のエネルギーはそれぞれ異なる。

その理由は，分子が熱運動で動き回り，衝突を繰り返しているからである。

例　分子同士が正面衝突　→　一時的にエネルギーは低くなる（運動の速さは遅くなる）

## ◆ 粒子の運動のグラフ




温度を高くすると，運動する速さの大きい粒子の割合が増えるため，右のようにグラフが変化する。

**まとめ**

・気体の分子は同じ環境に存在していても，運動エネルギーはそれぞれ（　　　　　　）。

# Chapter3　加熱時間と温度の関係

**要点**

加熱時間と温度の関係

状態変化がないとき　　　　　：加熱時間とともに，温度は上昇する

状態変化が起こっているとき：加熱時間に関係なく，温度は一定になる

## ◆ 加熱時間と温度の関係

通常，さまざまな状態変化は大気圧下（地上）で観察していくため，温度と物質の状態の関係が重要になる。

ここでは，固体を加熱していくときの温度変化を考えてみる。一般に，固体を加熱していくと，液体を経て最終的に気体になるが，温度変化は次の２つに大別できる。

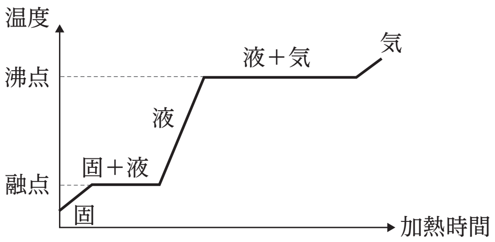
**・状態変化がないとき**

与えられた熱（熱エネルギー）によって分子の運動が激しくなり，温度が上昇する。すなわち加熱時間とともに温度が上昇する。

**・状態変化が起こっているとき**

与えられた熱（熱エネルギー）は状態変化する（分子間の結合を切る）ために使われるため，温度は変化しない。すなわち加熱時間に関係なく温度は一定に保たれる。

このとき，融解するために必要な熱を**融解熱**，蒸発するために必要な熱を**蒸発熱**という。




まとめ

・物質に熱を与えていくと，状態変化がないときには温度が（　　　　　　）。また，状態変化があるときには，温度が（　　　　　　　　）。

# Chapter4　冷却時間と温度の関係

要点

冷却時間と温度の関係

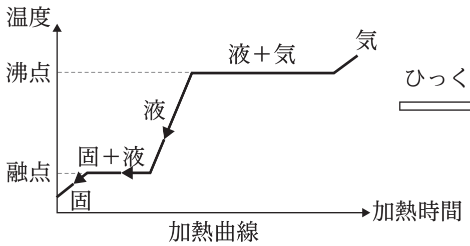
過冷却：液体を冷却したときに，凝固点を過ぎても凝固が起こらない状態。

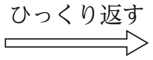
過冷却以外は「加熱時間と温度の関係」と考え方は同じ。

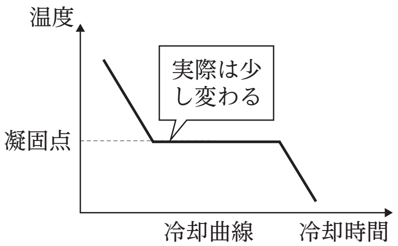
## ◆冷却時間と温度の関係 重要

物質を冷却していくと，状態変化がないときには温度が下がり，状態変化が起こっているときには温度は一定に保たれる。

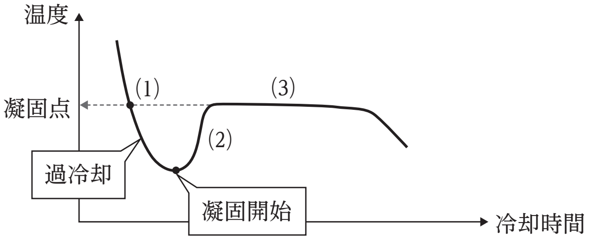
基本的に，加熱したときの逆の変化をたどることになるが，液体から固体の変化において，一点だけ異なるので注目する。




液体を冷却したとき, 凝固点に達すると凝固が始まるはずだが, 実際には凝固点を下回っても凝固は始まらない。この状態を**過冷却**という。




**⑴凝固点の読み取り方**

凝固点は「凝固開始点」ではなく「凝固開始予定点」を読み取ることに注意する。

**⑵凝固開始直後に温度が上昇する理由**

凝固開始直後は急激な凝固が起こり,「冷却によって奪われる熱」より「凝固によって放出される熱」が上回るため温度が上昇する。

**⑶温度上昇後，温度が一定に保たれる理由**

凝固の進行が落ち着くと「冷却によって奪われる熱」と「凝固によって放出される熱」がつり合うため，温度が一定になる。

まとめ

・液体を冷却していくと，凝固点を過ぎても凝固が開始しない。この状態を（　　　　　）という。

# Chapter5　状態図

要点

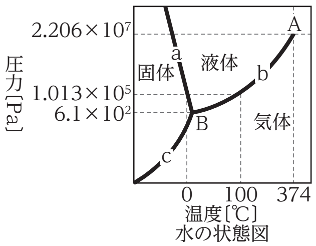
**状態図**

さまざまな温度と圧力のもとで，その物質が固体，液体，気体のどの状態で存在しているかを表した図。

## ◆ 状態図　重要

さまざまな温度と圧力のもとで，その物質が固体，液体，気体のどの状態で存在しているかを表した図を**状態図**という。

水の状態図で確認してみよう。



水の状態図

曲線 a：**融解曲線**　：固体と液体が共存する温度を表す曲線

曲線 b：**蒸気圧曲線**：液体と気体が共存する温度を表す曲線

曲線 c：**昇華圧曲線**：固体と気体が共存する温度を表す曲線

点 A　：**臨界点**

蒸気圧曲線がとぎれた点。気体と液体の区別がつかない状態になっている。また，臨界点を超えた状態にある物質を**超臨界流体**という

点 B　：**三重点**：３つの曲線の交点で，気体と液体と固体が共存している点

まとめ

・さまざまな温度と圧力のもとで，その物質が固体，液体，気体のどの状態で存在しているかを表した図を（　　　　　）という。

# Chapter6　演習問題

**問**　25℃の水 $H_2O$（分子量 18）180g を加熱し，すべて 100℃の水蒸気にする。このとき，必要な熱量は何 kJ か。ただし，水 1 g を 1 ℃上昇させるのに必要な熱量を 4.2J/g･℃，100℃の水 1 mol を水蒸気に変化させるために必要な熱量を 41kJ とする。

# 第 2 講　PART1　確認問題

問 1　(a)物質の状態は温度と圧力で決まるが，通常，状態変化は大気圧下で観察していくため，温度と物質の状態の関係が重要になる。物質に熱を与えていくと，状態変化がないときには温度が上昇するが，状態変化があるときには温度が（　ア　）。

冷却したとき，基本的には加熱と逆の変化をたどるが，冷却時には凝固点を下回っても凝固が始まらない過冷却という状態がある。過冷却の液体が凝固を始めるとき凝固開始直後は急速に凝固が進行し，温度が（　イ　）する。凝固の進行が落ち着くと温度が（　ウ　）。

(1)　文中の下線部(a)について，物質の状態は厳密には「粒子間の引力」と「熱運動の激しさ」の大小関係で決まるが，このうち，圧力に左右されるものはどちらか。適当なものを次の①，②のうちから一つ選べ。

①　粒子間の引力　　②　熱運動の激しさ

(2)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　上昇する　　②　下降する

③　一定に保たれる

(3)　文中の（　イ　），（　ウ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

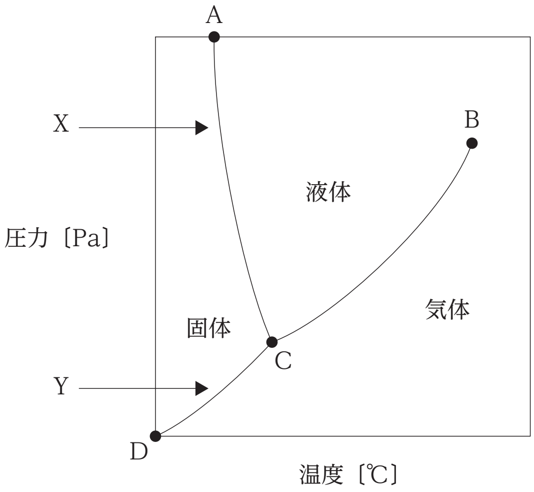
①　イ：上昇　　ウ：下降する

②　イ：上昇　　ウ：一定に保たれる

③　イ：下降　　ウ：上昇する

④　イ：下降　　ウ：一定に保たれる

**問２** 次の図は水の状態図を表している。この図について，下の問いに答えよ。




(1) X の曲線の名称として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 融解曲線　　② 蒸気圧曲線

③ 昇華圧曲線

(2) Y の曲線の名称として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 融解曲線　　② 蒸気圧曲線

③ 昇華圧曲線

(3) 臨界点を表す点として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① A　　② B

③ C　　④ D

# 第3講　気体
# PART1　気体①

目標　・気体は何かを理解し，気体の状態方程式を使えるようになろう！

## Chapter1　気体の考え方

要点

気体の考え方

　気体の計算問題では次のように考える。

・分子間の引力は無い

・分子の体積（大きさ）は無い

### ◆ 分子にはたらく2つの力と気体

　どんな分子にでも「分子同士が引き合う力（分子間力）」と「熱運動によって動き回ろうとする力」の２つの相反する力が必ず働いている。

　この２つの力の大小関係が

　　　　分子同士が引き合う力　≪　熱運動によって動き回ろうとする力

となったとき，分子は引力を振り切り自由に運動を始める。これが気体である。

### ◆ 気体の計算問題における考え方　重要

気体の計算問題では，次のように考える。

・**分子間に引力は無い**

　「分子間の引力≪熱運動による力」が成立するため，分子間の引力は無いものと考える。

・**分子の体積（大きさ）は無い**

　「気体の体積（気体が入っている容器の体積）≫ 分子の体積」が成立するため，分子の体積（大きさ）は無いものと考える。

まとめ

・気体の計算問題において（　　　　　　　　）と（　　　　　　　　　　）は無いと考える。

# Chapter2　気体の基本事項

**要点**

気体の基本事項

圧力 $P$：気体分子が壁にぶつかる力（単位面積当たり）

$1.013 \times 10^5$Pa ＝ 760mmHg ＝ 1 atm

体積 $V$：気体分子が自由に動き回れる空間の広さ，気体が入っている容器の体積

温度 $T$：絶対温度（K）＝ セルシウス温度（℃）＋ 273

## ◆ 気体の圧力 $P$　重要

気体分子は分子間の引力を振り切って自由に運動し，容器の壁にぶつかる。この「気体分子が壁にぶつかる力（単位面積当たり）」が気体の圧力 $P$ である。

気体の圧力の単位

**パスカル（Pa）**

高校化学では最も使用される圧力の単位。標準大気圧は $1.013 \times 10^5$Pa である。

**ミリメートル水銀柱（mmHg）**

大気圧下では水銀柱の高さが 760mm になる事実からつくられた圧力の単位。

標準大気圧は 760mmHg である。

**気圧（atm）**

標準大気圧は 1 atm である。

## ◆ 気体の体積 $V$　重要

「気体分子が自由に動き回れる空間の広さ」すなわち「気体が入っている容器の体積」を気体の体積という。単位は「リットル（L）」や「ミリリットル（mL）」を使用する。

## ◆ 気体の温度 $T$　重要

気体を考えるときは，セルシウス温度（℃）に 273 を加えた**絶対温度**（K（ケルビン））を使用する。

絶対温度（K）＝ セルシウス温度（℃）＋ 273

**まとめ**

・気体の標準大気圧は（　　　　　　　）Pa である。また，気体を考えるときには，温度は（　　　　　　）を用いる。

# Chapter3　気体の状態方程式

**要点**

気体の状態方程式

$PV = nRT$

$P$：圧力（Pa），$V$：体積（L），$n$：物質量（mol），

$R$：気体定数 $8.3 \times 10^3$（Pa･L/mol･K），$T$：温度（K）

## ◆ 気体の状態方程式　重要

気体の圧力 $P$ を大きくする方法は以下の２つ。

**１：温度を上げる**

気体分子が壁にぶつかる勢い（熱運動の勢い）を大きくすると，気体の圧力 $P$ は大きくなる。

すなわち気体の圧力 $P$ は温度（K）に比例する。

**２：単位体積当たりの物質量 $\left(\dfrac{n}{V}\right)$ を増やす**

単位体積当たりの壁にぶつかる分子数（物質量）を増やすと気体の圧力 $P$ は大きくなる。

すなわち，気体の圧力 $P$ は単位体積当たりの物質量 $\left(\dfrac{n}{V}\right)$ に比例する。

１，２より，気体の圧力 $P$ は「温度 $T$（K）」と「単位体積当たりの物質量 $\dfrac{n}{V}$（mol/L）」に比例することがわかる。

比例定数（以下, 気体定数）を $R$（Pa･L/mol･K）**とすると, 次のような式が成立する。**

$$P = R \cdot T \cdot \frac{n}{V} \quad \rightarrow \quad PV = nRT$$

これを**気体の状態方程式**という。

### ◆ 気体の状態方程式の使い方

気体の状態方程式を使って，知りたいものを求められるようになろう。そのとき，代入する数値の単位に気をつけること。

**例題**

27℃，$1.0 \times 10^5$Pa のもとで 500mL の気体の物質量は何 mol か？
ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa･L/mol･K）とする。

---

**考え方**

気体の状態方程式 $PV = nRT$ に数値を代入すると次のように求めることができる。

このとき，温度 $T$ の単位は K，体積 $V$ の単位は L であることに気をつける。

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{1.0\times10^5\times\dfrac{500}{1000}}{8.3\times10^3\times(27+273)} = 2.0\times10^{-2} \qquad n = \underline{2.0\times10^{-2}\ \text{mol}}$$

**まとめ**

・圧力を $P$（Pa），体積を $V$（L），物質量を $n$（mol），気体定数を $R$（Pa･L/mol･K），温度を $T$（K）とすると，気体の状態方程式は次のように表すことができる。
（　　　　　　　）

## Chapter4　演習問題

**問**　次の各問いに答えよ。ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa･L/mol･K）とする。

(1)　27℃，$7.5 \times 10^5$Pa のもとで 8.3L の気体の物質量は何 mol か。

(2)　1.5mol の気体を 27℃で $1.2 \times 10^5$Pa にすると，体積は何 L になるか。

# 第3講 PART1 確認問題

問1 (a)気体分子は分子間の引力よりも熱運動による力が十分強く，分子間の引力を振り切って自由に運動し，容器の壁にぶつかる。気体の圧力とは，このようにして気体分子が壁にぶつかる単位面積当たりの力のことをいい，単位としてはPaが最も使用され，(b)標準大気圧は $1.013 \times 10^5$Pa である。また，気体を考えるときには，温度はセルシウス温度（℃）に（　ア　）を加えた絶対温度（K）を使用する。

(1) 文中の下線部(a)について，気体の計算問題では「分子間の引力」と，もう1つ無いものとして考える要素があるが，それは何か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 分子の速さ　　② 分子の体積
③ 分子の質量　　④ 分子の数

(2) 文中の下線部(b)について，圧力にはミリメートル水銀柱（mmHg）という単位もあるが，この単位で標準大気圧を表すと，何mmHgになるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 560mmHg　　② 660mmHg
③ 760mmHg　　④ 860mmHg

(3) 文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 137　　② 173
③ 237　　④ 273

問2　次の問いに答えよ。

(1)　気体の状態方程式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，圧力を $P$（Pa），体積を $V$（L），物質量を $n$（mol），気体定数を $R$（Pa・L/mol・K），温度を $T$（K）とする。

①　$Pn = VRT$　　②　$PVT = nR$

③　$PV = nRT$　　④　$PnT = VR$

(2)　27℃，$8.3 \times 10^5$Pa のもとで 540mL の気体の物質量は何 mol か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa・L/mol・K）とする。

①　$1.8 \times 10^{-1}$mol　　②　2.0mol

③　$1.8 \times 10^2$mol　　④　$2.0 \times 10^2$mol

# PART2　気体②

目標　・気体の状態方程式と気体の分子量の関係を理解しよう！

## Chapter1　気体の状態方程式の応用

要点

気体の状態方程式の応用

$PV = nRT$ は次のように変形することができる。

$$M = \frac{wRT}{PV} = \frac{RT}{P}\cdot d$$　（$M$：分子量，$w$：質量（g），$d$：密度（g/L））

### ◆ 気体の状態方程式の変形　重要

物質量 $n$（mol）＝ $\dfrac{\text{質量}w\text{(g)}}{\text{分子量}M}$ であるため，気体の状態方程式 $PV = nRT$ は次のように変形することができる。

$$PV = nRT \;\rightarrow\; PV = \frac{w}{M}RT \qquad \cdots①$$

①式を分子量 $M$ を表す式に変形すると次のようになる。

$$M = \frac{wRT}{PV} \qquad \cdots②$$

また，密度 $d$（g/L）とすると，$d = \dfrac{w}{V}$ となるため，②式は次のように変形できる。

$$M = \frac{wRT}{PV} = \frac{RT}{P}\cdot d \qquad \cdots③$$

以上より，次のことがわかる。

・**状態方程式を利用して気体の分子量を求めることができる**

（実験については Chapter 2 で扱う）

・**$PT$ 一定のもとでは，気体の分子量と密度は比例関係である**

$PT$ 一定とすると，**$\dfrac{RT}{P}$ を比例定数として，分子量 $M$ と密度 $d$ が比例関係になる。**

**標準状態**（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）では，**比例定数 $\dfrac{RT}{P} = 22.4$ になることも頭に入れておこう。**

例題

標準状態において，密度が最小の気体を次の中から選びなさい。

①　酸素　　②　窒素　　③　水素

考え方

標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）なので，$PT$ 一定であり，密度は分子量に比例する。すなわち「密度が最小の気体＝分子量が最小の気体」となる。

パッと見て原子量1のH原子からなる水素 $H_2$(③) が正解とわかる。

まとめ

・気体の分子量を $M$，質量を $w$（g）とすると，気体の状態方程式 $PV = nRT$ は次のように変形することができる。　(　　　　　　　　)

・さらに，気体の密度を $d$ とすると，気体の分子量 $M$ と密度の関係式は次のようになる。(　　　　　　　　)

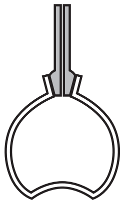
# Chapter2　気体の分子量測定実験（デュマ法）

要点

気体の分子量測定実験（デュマ法）

ピクノメーターを使って気体の密度を測定し，気体の分子量を求める実験

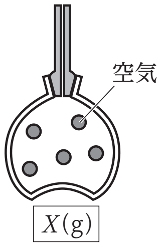
## ◆ 気体の分子量測定実験（デュマ法）



気体の分子量測定実験にはピクノメーターという器具を使用する。（図参照）

栓に小さな穴が空いており，気体が自由に出入りできるため，器具の中の圧力は，常に大気圧と一致する。

それでは実験の流れを確認してみよう。




操作1　**ピクノメーターの質量を測定する**

（ピクノメーター＋ピクノメーター内の空気）の質量が判明。

→ $X$（g）だったとする。

**操作2**　**試料（分子量を調べたい気体）を入れる**

ピクノメーターの栓をはずして試料を入れる。

（試料は液体であり，体積が非常に小さいため，ピクノメーター内の空気の量に変化はないと考えよう）

**操作3**　**恒温槽に入れて温度を適温で一定に保つ**

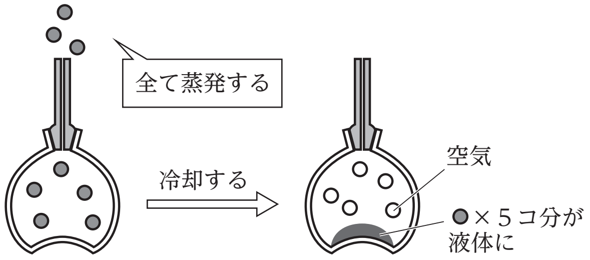
試料が蒸発し始める。

試料の蒸発にともない，空気がピクノメーターの外に追い出される。

**操作4**　**試料がすべて蒸発したら冷却し，質量を測定する**

試料がすべて蒸発したらピクノメーターを冷却し，ピクノメーター内に残った試料（蒸気）をすべて液体に戻し，質量を測定する（ピクノメーター内には空気が入ってきている）。

→ $Y$（g）だったとする。




**分子量を求める**

実験の結果より，恒温槽の温度 $t$（K），大気圧 $p$（Pa），ピクノメーターの容積 $v$（L）を満たしていた試料（蒸気）の質量は $Y-X$（g）となる。気体定数を $R$（Pa･L/mol･K）とすると，試料の分子量は次のように求めることができる。

$$M=\frac{wRT}{PV}=\frac{(Y-X)Rt}{pv}$$

※ 高校の実験室ではピクノメーターの代わりにフラスコを使用することもある。

## Chapter3　演習問題

**問**　容積 100mL のピクノメーターの質量を測定すると，30.50（g）であった。そのピクノメーターに液体の試料を入れ，80℃に設定した恒温槽に入れた。すべての試料が蒸発したのを確認し，冷却した後，ピクノメーターの質量を測定すると 30.75（g）であった。

この結果より，試料の分子量を整数で求めよ。

ただし，大気圧は $1.0 \times 10^5$（Pa），気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa･L/mol･K）とする。

# 第3講　PART2　確認問題

問 1　気体の分子量を $M$, 質量を $w$ (g) とすると, 物質量 $n$ (mol) は $\dfrac{w}{M}$ と表されるので，気体の状態方程式 $PV = nRT$ を分子量 $M$ を表す式に変形すると（　ア　）になる。

また，気体の密度を $d$（g/L）とすると，$d = \dfrac{w}{V}$ と表されるので, 気体の分子量 $M$ と密度の関係式は（　イ　）になる。

このように，状態方程式を利用することで，気体の分子量を求めることができ, 標準状態（0℃, $1.013 \times 10^5$Pa）では, 分子量と密度は比例定数（　ウ　）の比例関係にあることがわかる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる式として最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$M = \dfrac{wPV}{RT}$　　②　$M = \dfrac{PV}{wRT}$

③　$M = \dfrac{wRT}{PV}$　　④　$M = \dfrac{RT}{wPV}$

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる式として最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$M = \dfrac{P}{RT} \cdot d$　　②　$M = \dfrac{RT}{P} \cdot d$

③　$M = \dfrac{P}{RT} \cdot \dfrac{1}{d}$　　④　$M = \dfrac{RT}{P} \cdot \dfrac{1}{d}$

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1.12　　②　2.24

③　11.2　　④　22.4

⑷ 次の①～④の気体のうち，標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）において密度が最大のものを一つ選べ。ただし，原子量はH：1.0，C：12，N：14，O：16，Cl：35.5とする。

① アンモニア　　② 二酸化炭素

③ 塩化水素　　④ 窒素

# PART3　気体③

目標　・気体の計算問題のパターンをつかんでいこう！

## Chapter1　気体の物理的変化と法則

要点

気体の物理的変化と法則

温度や圧力など，気体の環境が変化（物理的変化）したときは「変化しなかったもの」に注目し，計算式をつくっていく。

### ◆ 物理的変化が起こったとき　重要

気体自身は変化せず，気体の環境（温度や圧力など）が変化することを物理的変化とよぶこととする。

物理的変化が起こったときは「変化しなかったもの」に注目して式を立てよう。

例題

27℃で 3.0L の容器に，酸素が $1.0 \times 10^5$Pa 入っている。温度を 327℃に上げると圧力は何 Pa になるか？

---

考え方

物理的変化が起こっている（温度が上がった）ので，変化しなかったものに注目する。

変化しなかったものは「容器の体積 3.0L（気体の体積）」と「酸素の物質量」なので，状態方程式で $V$ と $n$，そして気体定数 $R$（いつでも一定値）に丸をつける。

$$P\textcircled{V} = \textcircled{n}\,\textcircled{R}\,T$$

この式を変形すると，$\dfrac{P}{T} = \dfrac{nR}{V}$ となるため，$\dfrac{P}{T}$ は前後で等しいことがわかる。これより，327℃における圧力を $P$ とすると，次の式が成立する。

$$\frac{1.0 \times 10^5}{27 + 273} = \frac{P}{327 + 273} \qquad P = \underline{\underline{2.0 \times 10^5 (\mathrm{Pa})}}$$

### ◆ 法則になっている物理的変化

**ボイルの法則**　$T$ と $n$ が一定のもとでの物理的変化

$$PV = \textcircled{n}\textcircled{R}\textcircled{T}$$

シャルルの法則　$P$ と $n$ が一定のもとでの物理的変化

$$\textcircled{P}V = \textcircled{n}\textcircled{R}T \quad \rightarrow \quad \frac{V}{T} = \frac{nR}{P}$$

ボイル・シャルルの法則　$n$ が一定のもとでの物理的変化

$$PV = \textcircled{n}\textcircled{R}T \quad \rightarrow \quad \frac{PV}{T} = \textcircled{nR}$$

先述の例題のように, 法則名のついていない物理的変化もあるため, 法則にこだわらず「物理的変化が起こったら変化しなかったものに注目する！」を徹底する。

**まとめ**

・気体の計算問題において物理的変化が起こったら，（　　　　　　　　　　　）に注目して式を立てる。

## Chapter2　気体の化学的変化

**要点**

気体の化学的変化

化学的変化（気体が違う気体に変化）が起こったら，化学反応式を書いて 反応前，変化量，反応後 の表をつくる。

### ◆ 化学的変化が起こったとき　重要

気体が化学反応により違う気体に変化することを化学的変化とよぶこととする。

化学的変化が起こったときは化学反応式を書き, 反応前, 変化量, 反応後 のデータを表にしよう。

**例題**

容器に0.10molの水素$H_2$と0.20molの塩素$Cl_2$が入っている。両気体を完全に反応させ塩化水素HClが生成したとき，容器に存在する気体は全部で何molになるか？

---

**考え方**

化学的変化が起こっているため，化学反応式を書いてmolのデータを書き入れていく。

| | $H_2$ | + | $Cl_2$ | → | 2HCl（mol） | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 反応前 | 0.10 | | 0.20 | | 0 | |
| 変化量 | −0.10 | | −0.10 | | +0.20 | |
| 反応後 | 0 | | 0.10 | | 0.20 | 合計0.30 mol |

※化学的変化が起こる問題のほとんどは，気体が２種類以上混合した「混合気体」となるため，問題の練習は「混合気体」終了後にしっかりとやっていこう。

**まとめ**

・気体の計算問題において化学的変化が起こったら（　　　　　　　）を書き，反応前，変化量，反応後のデータを表にする。

# Chapter3　気体の計算問題の練習

**要点**

気体の計算問題の解法のまとめ

・変化がないとき　→　気体の状態方程式を使って計算
・物理的変化があるとき　→　変化しなかったものに注目して立式
・化学的変化があるとき　→　化学反応式を書いてデータを表にする（混合気体）

## ◆ 気体の計算問題の練習　（気体定数$R$は$8.3\times10^3$（Pa・L/mol・K）とする）

(1)　27℃，$1.0\times10^5$Paのもとで10Lの容器に二酸化炭素が入っている。二酸化炭素の物質量は何molか。

(2)　27℃に保った容積8.3Lの容器に窒素$N_2$（分子量28）が7.0g入っている。このとき，容器内の圧力は何Paか。

⑶　127℃，$1.5 \times 10^5$Pa で 5.0L の酸素 $O_2$ は，27℃，$3.0 \times 10^5$Pa にすると体積は何 L か。

⑷　ピストンが自由に動く容器に，27℃で窒素 $N_2$ が入っており，このとき体積が 10L だった。容器の温度を変化させたところ，体積が 15L となった。このときの温度は何℃か。

## Chapter4　演習問題

**問**　ピストンが自由に動く容器が２つあり，１つには気体 A が 27℃で入っており，体積が 1.5L であった。もう一つには気体 B が 67℃で気体 A と同じ物質量が入っている。このとき気体 B の体積は何 L か。

ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa･L/mol･K）とする。

# 第3講　PART3　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　27℃，容積 8.3L の容器に二酸化炭素 $CO_2$（分子量 44）が 11g 入っているとき，容器内の圧力は何 Pa か。最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$(Pa・L/mol・K) とする。

①　$2.5 \times 10^4$Pa　　②　$5.0 \times 10^4$Pa
③　$7.5 \times 10^4$Pa　　④　$1.0 \times 10^5$Pa

(2)　27℃，$6.0 \times 10^5$Pa で 4.0L の酸素 $O_2$ を，体積を 4.0L に保ったまま 127℃にすると圧力は何 Pa になるか。最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。

①　$2.0 \times 10^5$Pa　　②　$4.0 \times 10^5$Pa
③　$6.0 \times 10^5$Pa　　④　$8.0 \times 10^5$Pa

(3)　27℃，$3.0 \times 10^5$Pa で 2.0L の窒素 $N_2$ を，227℃，$4.0 \times 10^5$Pa にすると体積は何 L になるか。最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。

①　2.0L　　②　2.5L
③　3.6L　　④　4.4L

(4)　0.70mol の水素 $H_2$ と 0.50mol の塩素 $Cl_2$ を容器内で完全に反応させ，塩化水素 HCl が生成したとき，容器内に存在する気体は全部で何 mol か。最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。

①　0.50mol　　②　0.70mol
③　1.2mol　　④　1.7mol

< Note >

# PART4　混合気体

目標　・混合気体の扱い方をしっかりとマスターしよう！

## Chapter1　平均分子量（見かけの分子量）

要点

平均分子量（見かけの分子量）

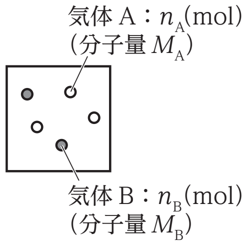
気体 A（分子量 $M_A$）$n_A$ mol と気体 B（分子量 $M_B$）$n_B$ mol からなる混合気体の平均分子量 $\overline{M}$

$$\overline{M} = M_A \times \frac{n_A}{n_A + n_B} + M_B \times \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

### ◆ 平均分子量（見かけの分子量）　重要

混合気体の分子量は成分気体の分子量の平均値で表し，これを**平均分子量（見かけの分子量）**という。

図のような混合気体の場合，平均分子量（見かけの分子量）$\overline{M}$ は以下のように表すことができる。




$$\overline{M} = M_A \times \frac{n_A}{n_A + n_B} + M_B \times \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

このとき，$\frac{n_A}{n_A + n_B}$ を気体 A のモル分率，$\frac{n_B}{n_A + n_B}$ を気体 B のモル分率という。

平均点の出し方と同じなので，「平均値で表す」ということを頭に入れておき，式はその場で作る。

**例題**

空気（物質量比 $N_2:O_2 = 4:1$ の混合気体とする）の平均分子量はいくらか？
ただし，$N_2$ と $O_2$ の分子量はそれぞれ 28 と 32 とする。

---

**考え方**

$$空気の平均分子量 = 28 \times \frac{4}{5} + 32 \times \frac{1}{5} = \underline{\underline{28.8}}$$

**まとめ**

・混合気体の分子量は，成分気体の分子量の（　　　　　）で表し，
（　　　　　　　　　　　　　　　　　）とよばれる。

## Chapter2　混合気体の扱い方（分体積）

**要点**

分体積

混合気体の全体の体積を成分気体の体積に分けたもの。

圧力 $P$ と温度 $T$ が一定のもとで「mol 比＝体積比」が成立する。

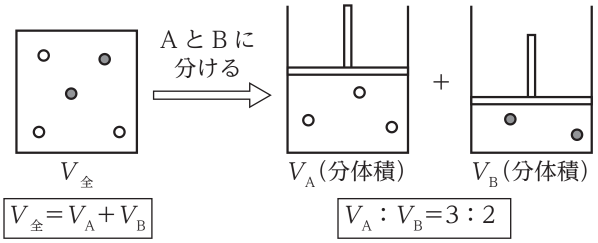
### ◆ 混合気体のデータ

通常，混合気体を考えるときには，成分気体のデータに分けて扱う。

例えば，気体Ａと気体Ｂが混合しているときには，気体Ａのデータと気体Ｂのデータに分けて考える。

### ◆ 分体積　重要

混合気体全体の体積を，成分気体の体積のデータに分けたものが「分体積」である。




上図のように気体Ａと気体Ｂが mol 比３：２で混合している混合気体において，気体Ａと気体Ｂの体積を分けると体積も３：２になる。

すなわち「**mol 比＝体積の比**」が成立する。

### ◆ 分体積で扱うことができる条件 重要

分体積はいつでも成立するわけではない。

モルと体積を比例関係にするには，以下のように圧力 $P$ と温度 $T$ が一定値でなくてはならない。

$$ⓅV = nⓇⓉ \rightarrow V = \left(\frac{RT}{P}\right)n$$ （$V$ と $n$ が比例関係。比例定数が $\left(\frac{RT}{P}\right)$）

この条件を徹底したうえで，分体積を考えていく。

**まとめ**

・混合気体全体の体積を成分気体の体積に分けて扱うときには（　　　　）と（　　　　）が一定という条件に注意する。

## Chapter3　混合気体の扱い方（分圧）

**要点**

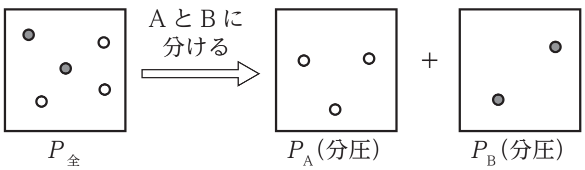
分圧

混合気体の全体の圧力を成分気体の圧力に分けたもの。

体積 $V$ と温度 $T$ が一定のもとで「mol 比＝分圧比」が成立する。

### ◆ 分圧 重要

混合気体全体の圧力（**全圧**）を，成分気体の圧力のデータに分けたものが「**分圧**」である。




$P_{全}=P_A+P_B$　　$P_A : P_B = 3 : 2$

上図のように気体 A と気体 B が mol 比 3：2 で混合している混合気体において，気体 A と気体 B の圧力を分けると，圧力も 3：2 になる。

すなわち「**mol 比＝分圧の比**」が成立する。

また，気体 A の分圧と気体 B の分圧を合わせると全圧になる。すなわち，「全圧＝分圧の総和」が成立する。これをドルトンの分圧の法則という。

### ◆ 分圧で扱うことができる条件　重要

分圧はいつでも成立するわけではない。

モルと圧力を比例関係にするには，以下のように体積 $V$ と温度 $T$ が一定値でなくてはならない。

$$P\,ⓥ = n\,ⓡ\,ⓣ \rightarrow P = \frac{RT}{V}n \quad (P \text{ と } n \text{ が比例関係。比例定数が } \frac{RT}{V})$$

この条件を徹底したうえで，分圧を考えていく。

**まとめ**

・混合気体全体の圧力を成分気体の圧力に分けて扱うときには（　　　　　）と（　　　　　）が一定という条件に注意する。

## Chapter4　演習問題

問　27℃のもとで，窒素 0.40mol と水素 0.60mol を 8.3L の容器に入れ，混合気体とした。この混合気体の全圧と，各気体の分圧はそれぞれ何 Pa か。ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa・L/mol・K）とする。

# 第 3 講　PART4　確認問題

問 1　混合気体の分子量は成分気体の分子量の平均値で表し，これを(a)平均分子量（見かけの分子量）という。

また,（　ア　）が一定のもとでは「mol 比＝体積の比」が,（　イ　）が一定のもとでは「mol 比＝分圧の比」が成立し，混合気体の体積や圧力を成分気体に分けて扱うことができる。

(1)　文中の下線部(a)について，水素 $H_2$ と窒素 $N_2$ が物質量比 2：3 で混ざった混合気体の平均分子量として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，水素 $H_2$ と窒素 $N_2$ の分子量はそれぞれ 2 と 28 とする。

① 10.3　　② 12.4
③ 14.7　　④ 17.6

(2)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ア：圧力　　イ：体積
② ア：圧力　　イ：体積と温度
③ ア：圧力と温度　　イ：体積
④ ア：圧力と温度　　イ：体積と温度

**問2** 次の問いに答えよ。ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa・L/mol・K）とする。

(1) 27℃のもとで，酸素 0.30mol と窒素 0.50mol を容器に入れ，$8.3 \times 10^5$Pa の混合気体とした。この混合気体中の酸素の体積（分体積）として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 0.90L　② 1.5L
③ 2.0L　④ 2.4L

(2) 27℃のもとで，酸素 2.0mol と水素 4.0mol を 16.6L の容器に入れ，混合気体とした。この混合気体中の水素の分圧として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $3.0 \times 10^5$Pa　② $6.0 \times 10^5$Pa
③ $9.0 \times 10^5$Pa　④ $1.2 \times 10^6$Pa

# PART5　気体の計算練習

目標　・気体の計算問題を解いて定着させよう！

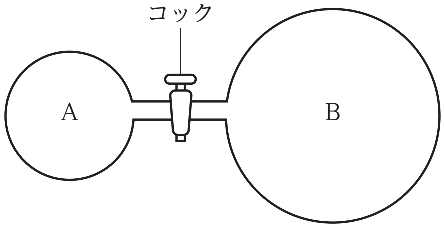
## Chapter1　分圧で考える問題練習

要点

分圧で考える問題

混合気体のデータを分圧で扱うときは，どの気体も体積が同じと考える（$V$・$T$一定）。

問　図のように容積 2.0L の A と容積 5.0L の B がコックで連結された容器がある。コックを閉じた状態で，A には窒素 $N_2$ が 2.8 × $10^5$Pa，B には酸素 $O_2$ が 3.5 × $10^5$Pa で入っている。温度を一定に保ったままコックを開くと，$N_2$ と $O_2$ の分圧はそれぞれ何 Pa になるか。




## Chapter2　分体積で考える問題練習

要点

分体積で考える問題

混合気体のデータを体積で扱うときは，どの気体も圧力が同じと考える（$P$・$T$ 一定）。

問　ピストンが自由に動く容器にメタン $CH_4$ と酸素 $O_2$ の混合気体を入れたところ，25℃で 100mL であった。この混合気体に点火し完全燃焼させた後，25℃に戻したところ，体積が 60mL に変化していた。
はじめの混合気体に含まれるメタンと酸素の体積比はいくらか。ただし，燃焼によって生じた水は全て液体とし，その体積は無視できるものとする。

# Chapter3　物理的変化と化学的変化の両方を考える問題練習

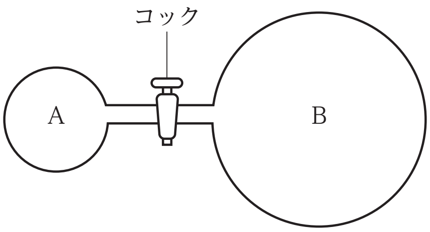
要点

物理的変化と化学的変化の両方を考える問題

物理的変化と化学的変化の両方を考えるときは，それぞれを分けて考える。

**問**　図のように容積 3.0L の A と容積 5.0L の B がコックで連結された容器があり，27℃，コックを閉じた状態で，A にはメタンが $2.4 \times 10^5$Pa，B には酸素が $4.0 \times 10^5$Pa で入っている。

コックを開き，両気体を混合したあと，点火しメタンを完全燃焼させ，27℃に戻したとき，容器内の全圧は何 Pa になるか。有効数字 2 桁で答えよ。ただし，生じる水は全て液体とし，その体積は無視できるものとする。



# 第 3 講　PART5　確認問題

問 1　容積 3.0L の A と容積 4.0L の B がコックで連結された容器がある。27℃，コックを閉じた状態で，A には $2.1 \times 10^5$Pa のメタン $CH_4$ が，B には $4.9 \times 10^5$Pa の酸素 $O_2$ が入っている。温度を一定に保ったままコックを開くと，メタンの分圧は（　ア　）Pa, 酸素の分圧は（　イ　）Pa となり，全圧は（　ウ　）Pa となる。

次に，この混合気体を点火しメタンを完全燃焼させ，27℃に戻したとき, 容器内の全圧は(　エ　)Pa になった。ただし，生じた水は全て液体とし，その体積は無視できるものとする。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$9.0 \times 10^4$　　②　$2.1 \times 10^5$
③　$2.8 \times 10^5$　　④　$4.9 \times 10^5$

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$9.0 \times 10^4$　　②　$2.1 \times 10^5$
③　$2.8 \times 10^5$　　④　$4.9 \times 10^5$

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$3.7 \times 10^5$　　②　$4.9 \times 10^5$
③　$5.8 \times 10^5$　　④　$7.0 \times 10^5$

(4)　文中の（　エ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$9.0 \times 10^4$　　②　$1.9 \times 10^5$
③　$3.7 \times 10^5$　　④　$7.0 \times 10^5$

< Note >

# PART6　飽和蒸気圧と気体の計算練習

目標　・飽和蒸気圧を理解し，蒸気を含む気体の計算にチャレンジしていこう！

## Chapter1　飽和蒸気圧

要点

飽和蒸気圧（$P_{max}$）

蒸気の圧力の限界値。

また，飽和蒸気圧と温度の関係をグラフにしたものを蒸気圧曲線という。

### ◆ 飽和蒸気圧（$P_{max}$）　重要

蒸気の圧力の限界値を**飽和蒸気圧（$P_{max}$）**という。

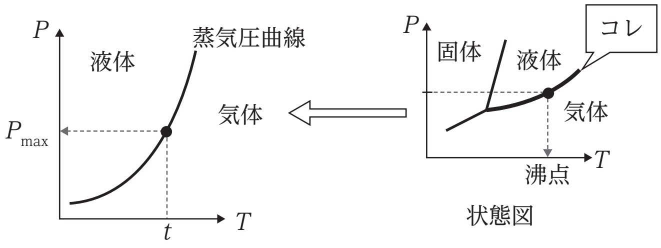
「蒸気（圧力に限界値がある)」なのか，「ただの気体（圧力に限界値がない)」なのかは次のように判断する。

・問題文中に飽和蒸気圧を与えられていたら蒸気

・水やアルコール，エーテル（常温常圧で液体で存在し沸点が低い）は蒸気

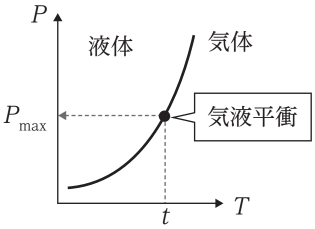
### ◆ 飽和蒸気圧（$P_{max}$）と蒸気圧曲線　重要

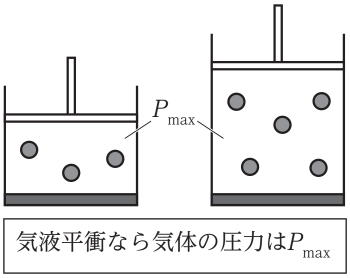
飽和蒸気圧（$P_{max}$）と温度の関係をグラフにしたものを**蒸気圧曲線**という。




蒸気圧曲線は状態図の一部であり「液体と気体の境界線」を表しているため，曲線上は「気体と液体が共存している状態（気液平衡という)」であり，蒸気の圧力は必ず飽和蒸気圧（$P_{max}$）になっている。

「液体が存在していたら，気体の圧力は絶対に飽和蒸気圧（$P_{max}$）！！」を徹底すること。




※蒸気圧曲線は液体と気体の境界線なので，その圧力における沸点を読み取れることをあわせて復習しておこう

**まとめ**

・蒸気の圧力の限界値を（　　　　　　　）といい，（　　　　）が共存している状態において，気体の圧力は必ずその限界値となっている。

# Chapter2　蒸気を含む気体の計算

**要点**

蒸気を含む気体の計算

全て気体と仮定して圧力 $P$ を求め，飽和蒸気圧（$P_{max}$）と比較する。

・$P \leqq P_{max}$ のとき → 全て気体（気体の圧力は $P$）

・$P > P_{max}$ のとき → 気体と液体が共存（気体の圧力は $P_{max}$）

## ◆ 蒸気を含む気体の問題 重要

蒸気を含む気体の問題は以下のように対応する。

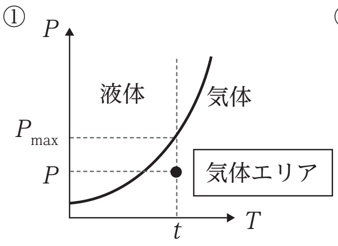
1：全て気体と仮定し，普通の気体の問題と同じように圧力 $P$ を求める

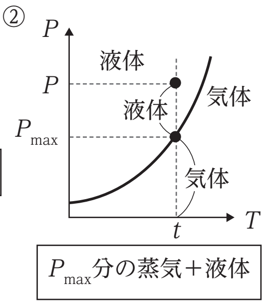
2：1で求めた圧力 $P$ を飽和蒸気圧 $P_{max}$ と比較する

① **$P \leqq P_{max}$ のとき → 全て気体（蒸気の圧力は $P$）**

$P = P_{max}$ は「全て気体になる瞬間」もしくは「液体が生じる瞬間」

② **$P > P_{max}$ のとき → 気体と液体が共存（蒸気の圧力は $P_{max}$）**



**例題**

容積 8.3L の密閉容器に窒素 $N_2$ 0.2mol と水 $H_2O$ 0.5mol を入れ，27℃に保った。このとき，容器内の圧力は何 Pa か。ただし，27℃の水の飽和蒸気圧は $3.6 \times 10^3$（Pa），気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa・L/ mol・K）とする。

---

**考え方**

まず，気体 $N_2$ の分圧 $P_{N_2}$ を出す。

$$P_{N_2} = \frac{nRT}{V} = \frac{0.2 \times 8.3 \times 10^3 \times 300}{8.3} = \underline{6.0 \times 10^4\,(\mathrm{Pa})}$$

水 $H_2O$ が全て気体と仮定すると，その分圧 $P_{H_2O}$ は $P_{N_2}$ の $\dfrac{0.5}{0.2} = 2.5$ 倍になる。

$$P_{H_2O} = 6.0 \times 10^4 \times 2.5 = \underline{1.5 \times 10^5\,(\mathrm{Pa})}$$

求めた $P_{H_2O}$ を飽和蒸気圧 $P_{max}$ と比較する。

$$P_{H_2O}\ \ 1.5 \times 10^5\,(\mathrm{Pa}) > P_{max}\ 3.6 \times 10^3\,(\mathrm{Pa})$$

以上より，水蒸気の圧力は $3.6 \times 10^3$（Pa）であるため，全圧は以下のようになる。

$$全圧 = P_{N_2} + P_{max} = 6.0 \times 10^4 + 3.6 \times 10^3 = 6.36 \times 10^4\,(\mathrm{Pa}) \quad \underline{6.4 \times 10^4\,(\mathrm{Pa})}$$

**まとめ**

- 蒸気を含む気体の計算では，全て気体と仮定して圧力 $P$ を求め，その圧力 $P$ と飽和蒸気圧（$P_{max}$）と比較する。
- $P \leqq P_{max}$ のとき → 状態は（　　　　　　　），蒸気の圧力は（　　　）
- $P > P_{max}$ のとき → 状態は（　　　　　　　　　　　　），蒸気の圧力は（　　　　）

## Chapter3　蒸気を含む気体の計算練習

**例題**

27℃, $1.00 \times 10^5$Pa のもとで, ピストンが付いた密閉容器に窒素と水蒸気が入っており，容器の底に液体の水が存在していた。ピストンを押して容器の体積を半分にしたとき，容器の圧力は何 Pa か。ただし，液体の水の体積は無視できるものとし，27℃の水の飽和蒸気圧は $3.60 \times 10^3$（Pa）とする。

---

**考え方**

最初に液体の水が存在していたことから，水蒸気の分圧は飽和蒸気圧の $3.60 \times 10^3$（Pa）であるため，窒素の分圧は $1.00 \times 10^5 - 3.60 \times 10^3 = 0.964 \times 10^5$（Pa）である。

温度を一定で体積を半分にすると圧力は2倍になるため，窒素の分圧は次のようになる。

$$0.964 \times 10^5 \times 2 = 1.928 \times 10^5 \text{（Pa）}$$

水蒸気の圧力は飽和蒸気圧であるため，容器の全圧は次のようになる。

$$1.928 \times 10^5 + 3.60 \times 10^3 = 1.964 \times 10^5 \text{（Pa）} \qquad \underline{1.96 \times 10^5 \text{ (Pa)}}$$

## Chapter4　演習問題

問　27℃，$1.0 \times 10^5$Pa のもとで 0.020mol の水素 $H_2$ を水上置換でメスシリンダー内に捕集した。27℃における水の飽和蒸気圧が $3.6 \times 10^3$Pa であるとき，捕集した気体の体積は何 L か。

ただし，気体定数は $8.3 \times 10^3$（Pa･L/mol･K），メスシリンダー内の気体の温度と圧力は，27℃，$1.0 \times 10^5$Pa とする。

# 第３講　PART6　確認問題

問１　ピストンが付いた密閉容器に0.010molの窒素$N_2$と0.020molの水$H_2O$を入れ，体積を8.3L，温度を27℃に保った。このとき，27℃における水の飽和蒸気圧を$3.6 \times 10^3$Pa，気体定数を$8.3 \times 10^3$（Pa・L/mol・K）とすると，全圧は（　ア　）Paとなる。

　また，温度を保ったまま，ピストンを引いて容器の体積を２倍にすると，窒素の分圧は（　イ　）Pa，水蒸気の分圧は（　ウ　）Paとなり，全圧は（　エ　）Paとなる。

(1)　ピストンを引く前の容器内の状態として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　全て液体　　　②　液体と気体が共存

③　全て気体

(2)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$3.0 \times 10^3$　　　②　$6.6 \times 10^3$

③　$7.2 \times 10^3$　　　④　$9.0 \times 10^3$

(3)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$1.5 \times 10^3$　　　②　$3.0 \times 10^3$

③　$4.5 \times 10^3$　　　④　$6.0 \times 10^3$

(4)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$1.8 \times 10^3$　　　②　$3.0 \times 10^3$

③　$3.6 \times 10^3$　　　④　$1.2 \times 10^4$

(5) 文中の（　エ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $3.3 \times 10^3$　　② $4.5 \times 10^3$

③ $9.6 \times 10^3$　　④ $1.8 \times 10^4$

# PART7　理想気体と実在気体

目標　・理想気体と実在気体の違いをしっかりと押さえよう！

## Chapter1　理想気体と実在気体

要点

理想気体と実在気体

理想気体：気体の状態方程式 $PV = nRT$ が厳密に成立する気体

実在気体：「分子間力」と「分子の体積（大きさ)」があり，気体の状態方程式が成立しない気体

### ◆ 理想気体　重要

計算問題で扱う気体。「分子間力」と「分子の体積（大きさ)」が無い。そのため，気体の状態方程式 $PV = nRT$ が厳密に成立する。また，状態変化が起こらない（温度を下げても液体に変化することはない)。

### ◆ 実在気体　重要

空気のような実在している気体。(わずかではあるが)「分子間力」と「分子の体積（大きさ)」がある。そのため，気体の状態方程式 $PV = nRT$ が成立しない。また，温度を下げると液体，固体へと変化する。

まとめ

| | 理想気体 | 実在気体 |
|---|---|---|
| 分子間力 | (　　　) | (　　　) |
| 分子の体積（大きさ） | (　　　) | (　　　) |
| 気体の状態方程式 | (　　　　　　) | (　　　　　　) |
| 状態変化 | (　　　) | (　　　) |

# Chapter2　分子間力の影響

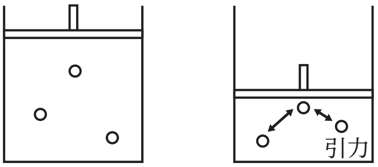
要点

分子間力の影響

実在気体には分子間力が働くため，理想気体に比べて体積 $V$ が小さくなる。（$P$･$T$ 一定下）

## ◆ 分子間力の影響　重要

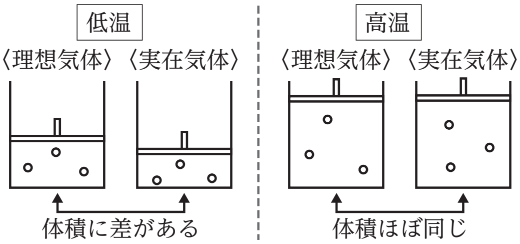
実在気体には分子間力が働くため，圧力 $P$ と温度 $T$ が一定のもとでは，理想気体に比べて体積 $V$ が小さくなる。すなわち，理想気体の体積 $V_i$ > 実在気体の体積 $V_r$ となる。




## ◆ 分子間力の影響を小さくする方法　重要

分子間力の影響を小さくする，すなわち $V_i \fallingdotseq V_r$ にするためには「**高温**」にすればよい。

高温下では分子の熱運動が激しくなるため，分子間力の影響が小さくなり，実在気体の体積は理想気体の体積に近付く。




まとめ

・実在気体には分子間力が働くため，理想気体に比べて体積が（　　　　　）なる。
　その影響を小さくするには（　　　　）にすればよい。

# Chapter3　分子の体積（大きさ）の影響

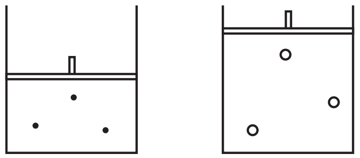
要点

**分子の体積（大きさ）の影響**

実在気体には分子の体積（大きさ）があるため，理想気体に比べて気体の体積 $V$ が大きくなる。（$P$・$T$ 一定下）

## ◆ 分子の体積（大きさ）の影響　重要

実在気体には分子に体積（大きさ）があるため，圧力 $P$ と温度 $T$ が一定のもとでは，理想気体に比べて気体の体積 $V$ が大きくなる。すなわち，理想気体の体積 $V_i$ < 実在気体の体積 $V_r$ となる。

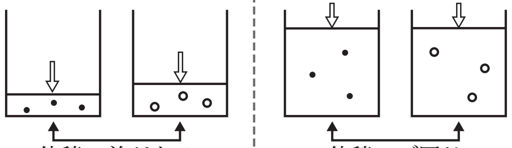



## ◆ 分子の体積（大きさ）の影響を小さくする方法　重要

分子の体積（大きさ）の影響を小さくする，すなわち $V_i \fallingdotseq V_r$ にするためには**「低圧」**にすればよい。

低圧下では単位体積当たりの分子数が減少するため，分子の体積（大きさ）を無視できる状態に近付く。すなわち実在気体の体積は理想気体の体積に近付く。

ちなみに，低圧下では分子間の距離も大きくなるため，分子間力の影響も小さくなる。



まとめ

・実在気体には分子に体積（大きさ）があるため，理想気体に比べて気体の体積が
（　　　　　）なる。
その影響を小さくするには（　　　　　）にすればよい。

# Chapter4　理想気体と実在気体のズレを表すグラフ

要点

理想気体と実在気体のズレを表すグラフ

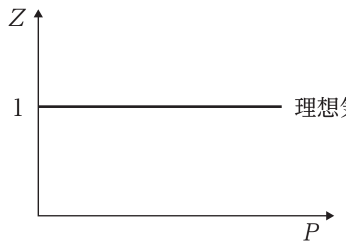
理想気体と実在気体のズレは，横軸が圧力 $P$，縦軸が $Z\left(=\dfrac{PV}{nRT}\right)$ のグラフで表す。

## ◆ 理想気体と実在気体のズレ　重要

「分子間力」と「分子の体積（大きさ）」の影響により生じる理想気体と実在気体のズレは，気体の状態方程式を変形して得られる $Z$ のグラフで確認することができる。

$$PV = nRT \quad \rightarrow \quad Z = \frac{PV}{nRT}$$

理想気体は，気体の状態方程式が厳密に成立するため，常に $Z = 1$ となる。




## ◆ 実在気体のZのグラフ　重要

まず，「分子間力」と「分子の体積（大きさ）」の影響を再確認する。

・分子間力の影響　：　理想気体の体積 $V_i$ ＞ 実在気体の体積 $V_r$

$$\rightarrow \frac{PV_i}{nRT} > \frac{PV_r}{nRT}$$

・分子の体積（大きさ）の影響　：　理想気体の体積 $V_i$ ＜ 実在気体の体積 $V_r$

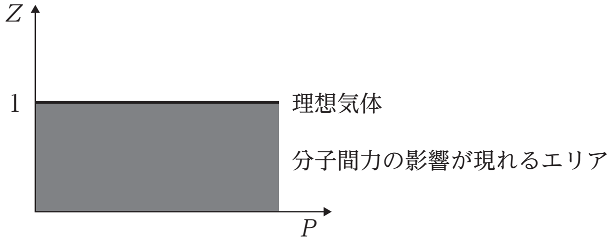
$$\rightarrow \frac{PV_i}{nRT} < \frac{PV_r}{nRT}$$

この２つの影響は相反するものであることがわかる。

よって，$Z$ のグラフのズレは次のようになる。

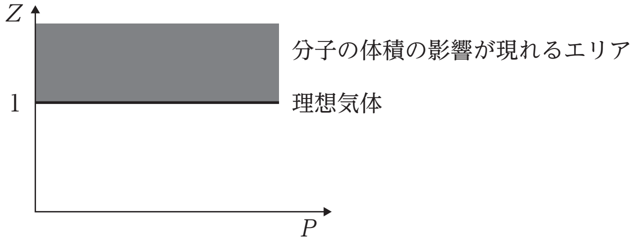
(1) 「分子間力の影響 ＞ 分子の体積（大きさ）の影響」のとき

→ 実在気体のグラフは理想気体のグラフ（$Z$ ＝１）より下にズレる。また，この状態になるのは，分子の体積（大きさ）の影響が小さい「低圧下」である。

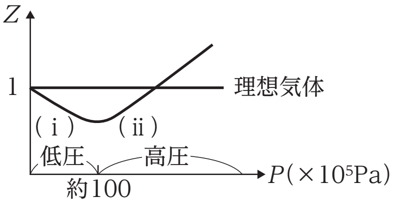


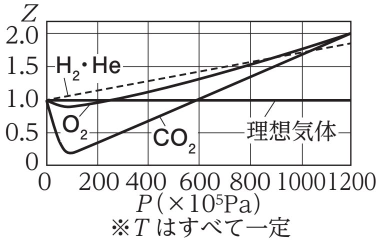

(2) 「分子間力の影響 ＜ 分子の体積（大きさ）の影響」のとき

→ 実在気体のグラフは理想気体のグラフ（$Z$ ＝１）より上にズレる。また，この状態になるのは，分子の体積（大きさ）の影響が大きい「高圧下」である。




以上より，実在気体の $Z$ のグラフは次のようになる。




※$T$ はすべて一定

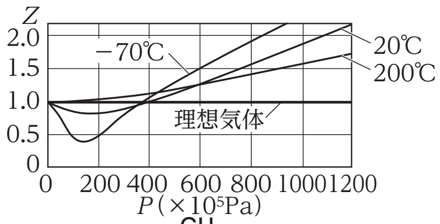
・水素 $H_2$ やヘリウム He

→ 分子間力が極めて小さい実在気体であるため，ほとんど下へのズレがない。

・酸素 $O_2$ と二酸化炭素 $CO_2$

→ $CO_2$ の方が分子量が大きく，分子間力も大きい。よって下へのズレが $O_2$ より大きい。

また，高温下では実在気体が理想気体に近付くため，実在気体のグラフは理想気体の $Z$ ＝１に近い形となる。



$CH_4$

**まとめ**

・実在気体の $Z$ のグラフは，低圧下では（　　　）に，高圧下では（　　　）にズレる。

## Chapter5　演習問題

**問**　次の文章のア～エに当てはまる語句を①～⑦からそれぞれ選べ。

実在気体には（　ア　）があるため，理想気体に比べて気体の体積が小さくなる。また，実在気体には（　イ　）があるため，理想気体に比べて気体の体積が大きくなる。これらの影響を小さくするには（　ウ　）・（　エ　）にする。

①　分子間力　②　分子の質量　③　分子の体積　④　高温　⑤　低温
⑥　高圧　⑦　低圧

# 第3講 PART7 確認問題

問1　気体の状態方程式が厳密に成立する気体を理想気体という。これに対して，「分子間力」と「分子の体積」があり，状態方程式が成立しない気体を実在気体という。

実在気体には分子間力が働くため，圧力と温度が一定のもとでは，理想気体に比べて体積が（　ア　）なる。また，実在気体には分子に体積があるため，圧力と温度が一定のもとでは，理想気体に比べて体積が（　イ　）なる。実在気体の分子間力の影響を小さくするには（　ウ　）に，分子の体積の影響を小さくするには（　エ　）にすればよい。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：大きく　　イ：大きく
②　ア：大きく　　イ：小さく
③　ア：小さく　　イ：大きく
④　ア：小さく　　イ：小さく

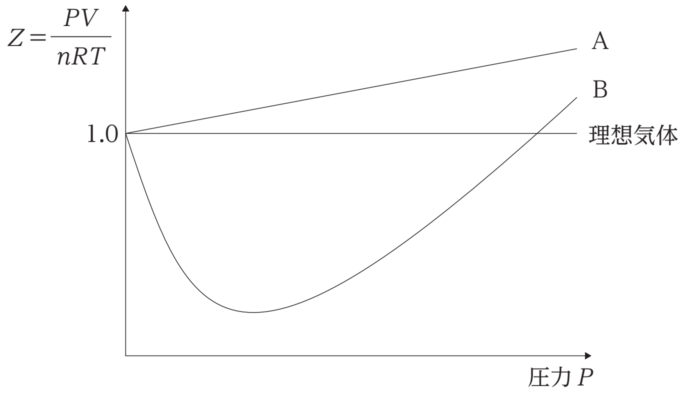
(2)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　低温　　②　高温
③　低圧　　④　高圧

(3)　文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　低温　　②　高温
③　低圧　　④　高圧

**問2** 理想気体と実在気体のズレは，横軸が圧力 $P$，縦軸が $Z$ $\left(=\dfrac{PV}{nRT}\right)$ の下のようなグラフで表すことができる。




理想気体は状態方程式が厳密に成り立つので，このグラフにおいて常に $Z=1.0$ となるが，実在気体は「分子間力」と「分子の体積」の影響があるので $Z$ のグラフはズレる。例えば，「分子間力の影響＞分子の体積の影響」のとき，すなわち，分子の体積の影響が小さい（　ア　）では $Z=1.0$ より（　イ　）にズレる。

(1) 文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ア：高圧下　イ：上　② ア：高圧下　イ：下
③ ア：低圧下　イ：上　④ ア：低圧下　イ：下

(2) 上のグラフの A，B は，それぞれ水素と二酸化炭素のどちらかである。このうち，B はどちらになるか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 水素　② 二酸化炭素

# 第 4 講　溶液

# PART1　溶解と濃度

目標　・濃度の計算を徹底しよう！

## Chapter1　溶解

要点

溶解

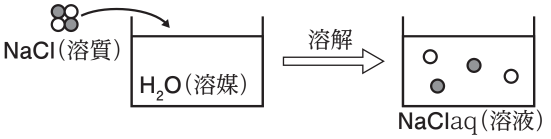
・液体に他の物質が混合して均一な混合物になること。

・溶媒が水のとき，水分子がイオンなどの粒子と結びつく水和が起こっている。

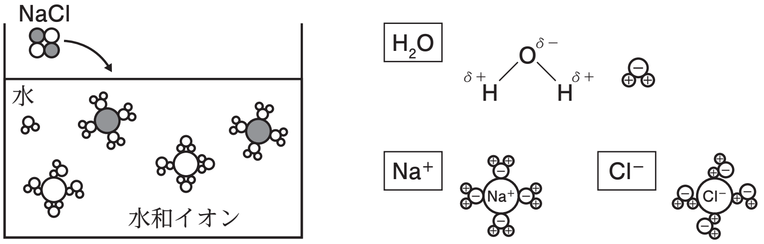
### ◆ 溶解

液体に他の物質が混合して均一な混合物になることを**溶解**という。このとき，他の物質を溶解する液体を**溶媒**，溶媒に溶かす物質を**溶質**，溶解によってできた均一な混合物を**溶液**という。

**例**　塩化ナトリウム水溶液 NaClaq（溶質：塩化ナトリウム NaCl，溶媒：水 $H_2O$）




このとき，ナトリウムイオン $Na^+$ や塩化物イオン $Cl^-$ は水分子を引きつけており，この現象を**水和**という。また，水和しているイオンを**水和イオン**という。




まとめ

・液体に他の物質が混合して均一な混合物になることを（　　　　）という。

・イオンなどの粒子が水分子と結びつくことを（　　　　）といい，このような状態になっているイオンを（　　　　　　）という。

# Chapter2　溶解のきまり

要点

溶解のきまり

・物質の溶解は「似たものどうし」でよく起こる。

## ◆ 溶解のきまり　重要

物質の溶解は「似たものどうし」で起こりやすい。

**・極性をもつ物質は，極性をもつ溶媒(極性溶媒)によく溶ける。**

例　塩化ナトリウム NaCl は水 $H_2O$ に溶ける。

(基本的にイオン結晶は水 $H_2O$ に溶けるが, 塩化銀 AgCl や硫酸バリウム $BaSO_4$ などは沈殿し，沈殿はほとんど溶解しない。)

**・極性をもたない物質は，極性をもたない溶媒(無極性溶媒)によく溶ける。**

例　ヨウ素 $I_2$ は四塩化炭素 $CCl_4$ に溶ける。

まとめ

・極性をもつ物質は（　　　　　　　）によく溶け，極性をもたない物質は（　　　　　　　）によく溶ける。

# Chapter3　溶液の濃度の種類

要点

**溶液の濃度の種類**

$$質量パーセント濃度(\%) = \frac{溶質の質量(g)}{溶液の質量(g)} \times 100$$

$$モル濃度(mol/L) = \frac{溶質の物質量(mol)}{溶液の体積(L)}$$

$$質量モル濃度(mol/kg) = \frac{溶質の物質量(mol)}{溶媒の質量(kg)}$$

## ◆ 質量パーセント濃度（%）　重要

溶液 100g あたりの溶質の質量（g）で表した濃度。

$$\mathbf{質量パーセント濃度(\%) = \frac{溶質の質量(g)}{溶液の質量(g)} \times 100}$$

通常，溶液の情報は体積で与えられるため，密度(g/cm$^3$）を使った計算になることを意識しておこう。

**溶液の体積(mL) × 溶液の密度(g/cm$^3$) ＝ 溶液の質量(g)**

## ◆ モル濃度（mol/L）　重要

溶液 1 L あたりの溶質の物質量（mol）で表した濃度。

$$\mathbf{モル濃度(mol/L) = \frac{溶質の物質量(mol)}{溶液の体積(L)}}$$

## ◆ 質量モル濃度（mol/kg）　重要

溶媒 1 kg あたりの溶質の物質量（mol）で表した濃度。

$$\mathbf{質量モル濃度(mol/kg) = \frac{溶質の物質量(mol)}{溶媒の質量(kg)}}$$

「希薄溶液の性質」というテーマでのみ使用する。

まとめ

・質量モル濃度は（　　　　　　）あたりの（　　　　　　　　　）で表す濃度である。

# Chapter4　濃度計算の練習①

要点

濃度の単位変換

・濃度の単位変換は，分母と分子それぞれの単位変換と考える。

## ◆ 濃度の単位変換の練習　重要

濃度の単位変換をおこなうときは，全体でとらえるのではなく，分母と分子をそれぞれ単位変換すると考えよう。

例題

98％の濃硫酸の質量モル濃度は何 mol/kg か。有効数字 2 桁で答えよ。ただし，$H_2SO_4$ の分子量は 98 とする。

---

考え方

質量モル濃度は分母が溶媒なので，質量パーセント濃度の情報を「溶質」「溶媒」「溶液」に分けて書き出してみる。

98％　→ 溶液：100g，溶質：98g，溶媒：100 − 98 ＝ 2g

これより，質量モル濃度は以下のように表すことができる。

$$\text{質量モル濃度(mol/kg)} = \frac{\text{溶質の物質量(mol)}}{\text{溶媒の質量(kg)}} = \frac{\frac{98}{98}}{\frac{2}{1000}} = 500$$

$5.0 \times 10^2$ mol/kg

# Chapter5　濃度計算の練習②

要点

溶液の希釈

・溶液を希釈する前後で溶質の量は変化しない。

## ◆ 溶液の希釈の練習　重要

溶液に溶媒を加えて希釈しても，溶質の量は変化しない。すなわち，希釈の問題を解くときは，

**「希釈前の溶質の量＝希釈後の溶質の量」**

を式にしよう。

このとき，溶質の量は両辺で統一していれば，「g」でも「mol」でもよい。

例題

質量パーセント濃度 36.5%，密度 1.18g/$cm^3$ の塩酸に水を加えて希釈し，1.00mol/L の塩酸 1.00L を作りたい。このとき，36.5% の塩酸は何 mL 必要か。ただし，HCl のモル質量は 36.5g/mol とする。

---

考え方

質量パーセント濃度 36.5% の塩酸を $x$ mL 使用すると考える。

塩酸に含まれている HCl の量(mol)は，希釈前後で不変であるため次の式が成立する。

$$x \times 1.18 \times \frac{36.5}{100} \times \frac{1}{36.5} = 1.00 \times 1.00 \qquad x \fallingdotseq \underline{\underline{84.7\text{mL}}}$$

# Chapter6　演習問題

**問**　モル濃度 2.0mol/L，密度 1.1g/$cm^3$ の水酸化ナトリウム NaOH 水溶液の質量パーセント濃度は何 % か。ただし，NaOH の式量は 40 とする。

# 第4講　PART1　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　塩化カリウム水溶液の溶質として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　塩素　　②　カリウム

③　塩化カリウム　　④　水

(2)　ヨウ素が溶けやすい溶媒として最も適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　水　　②　四塩化炭素

(3)　90% の濃硝酸（密度 1.4g/cm$^3$）のモル濃度は何 mol/L か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，$HNO_3$ の分子量は 63 とする。

①　1.3mol/L　　②　2.0mol/L

③　13mol/L　　④　20mol/L

(4)　20% の水酸化ナトリウム水溶液の質量モル濃度は何 mol/kg か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，NaOH の式量は 40 とする。

①　$5.0 \times 10^{-3}$mol/kg

②　$6.3 \times 10^{-3}$mol/kg

③　5.0mol/kg

④　6.3mol/kg

(5) 40%，1.05g/$cm^3$ の酢酸に水を加えて希釈し，0.70mol/L の酢酸 500mL を作りたい。このとき，40% の酢酸は何 mL 必要か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，$CH_3COOH$ の分子量は 60 とする。

① 5.0mL　　② 50mL

③ $1.0 \times 10^2$mL　　④ $1.5 \times 10^2$mL

# PART2　固体の溶解度

目標　・固体の溶解度の計算ができるようになろう！

## Chapter1　固体の溶解度の表し方

要点

固体の溶解度の表し方

・水 100g に溶解する限界量 g で表す。

### ◆ 固体の溶解度の表し方

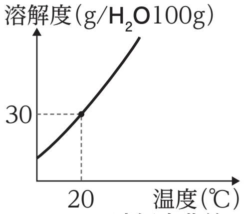
固体の溶解度は「**水 100g に溶解する限界量 g**」で表す。

例　硝酸カリウム $KNO_3$ の 20℃の溶解度 30

→ $KNO_3$ は 20℃で，水 100g に対して 30g まで溶解する。

### ◆ 溶解度曲線

温度と溶解度の関係を表すグラフを**溶解度曲線**という。




$KNO_3$溶解度曲線

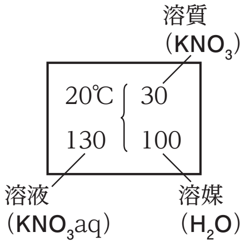
### ◆ 固体の溶解度の書き出し方

文章中やグラフで与えられた溶解度は必ず書き出そう。

この講義では右のように書き出すこととする。

ちなみに，溶解度は「溶解する限界量」を表しているため，

限界まで溶解した溶液（**飽和溶液**）の組成ととらえることができる。




まとめ

・固体の溶解度は水（　　　　　）に対する限界量 g で表す。また，温度と溶解度の関係を表したグラフを（　　　　　　　）という。

# Chapter2　固体の溶解度を使った計算の解法

**要点**

固体の溶解度を使った計算

・溶解度を書き出し，「飽和溶液」と「溶解度」で比例の式を作る。

## ◆ 固体の溶解度を使った計算の解法

固体の溶解度を使った計算問題は以下のように解いていこう。

(1)　問題文に出てくる温度の溶解度を書き出す（→書き方は Chapter 1）

(2)　「飽和溶液」と「溶解度」で比例の式を作る

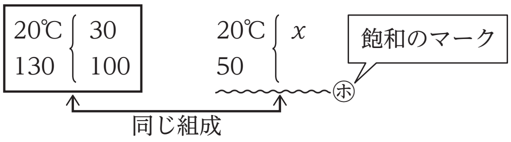
**例題**

硝酸カリウム $KNO_3$ の 20℃の溶解度は 30 であるとする。20℃の $KNO_3$ の飽和溶液 50g には $KNO_3$ が何 g 含まれているか。

---

**考え方**

まずは溶解度を書き出し，並べて飽和溶液の組成($KNO_3$ の量を $x$ g とする)を書き出してみる。




溶解度と飽和溶液は同じ比を取るため，次のように表すことができる。

$130 : 30 = 50 : x$　　　　$x \fallingdotseq \underline{\underline{12\ \mathrm{g}}}$

このように，溶解度と飽和溶液で比例の式を作っていれば，「溶液：溶質」にこだわる必要はない。「溶媒：溶質」「溶液：析出量」などでも式を作ることが可能である。

**まとめ**

・固体の溶解度を使った計算では，溶解度を書き出し，溶解度と（　　　　　　）で比例の式を作る。

# Chapter3　固体の溶解度の計算①（溶解可能な溶質量を求める）

**要点**

溶解している溶質量を求める計算

・与えられている情報により，「溶液：溶質」や「溶媒：溶質」の式を作る。

## ◆ 溶解している溶質量を求める計算

与えられている情報を確認し，「溶液：溶質」や「溶媒：溶質」の式を作ろう。

最も簡単な例は Chapter 2 の 例題 である。

ここでは水和物の溶解量を求める計算にチャレンジしてみよう。

**例題**

水 100g に硫酸銅五水和物 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$（式量 250）を溶解し，20℃の飽和溶液を作りたい。$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ は何 g 必要か。ただし，硫酸銅 $CuSO_4$（式量 160）の 20℃の溶解度は 20 である。

---

**考え方**

まず，溶解度と問題文のデータを書き出してみる。（溶解させる $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ を $x$ g とする）

| 20℃ | |
|---|---|
| 20 | 溶質 |
| 120 | 溶液 |
| 100 | 溶媒 |

（枠内：20℃ { 20 ／ 120 { 100 ）

$$CuSO_4 \cdot 5H_2O\ (xg) + H_2O\ (100g) \rightarrow 20℃\ (100+x)\begin{cases}\dfrac{160}{250}x \\ 100+\dfrac{90}{250}x\end{cases}$$

飽和溶液に含まれる溶質，すなわち $CuSO_4$ が $\dfrac{160}{250}x$ となることに気をつける。

以上より，溶解度と飽和溶液で比例の式を作ると次のようになる。

$(100+x) : \dfrac{160}{250}x = 120 : 20$　　$x \fallingdotseq$ 35 g

# Chapter4　固体の溶解度の計算②（温度変化による析出量を求める）

**要点**

温度変化による析出量を求める計算

・「析出量」を使った比例の式を作る。

## ◆ 温度変化による析出量を求める計算

温度変化前後の溶質量をそれぞれ求めてその差を計算するのではなく，溶解度の差で析出量を確認し，「析出量」を使った比例の式を作ると計算がシンプルになる。

**例題**

50℃の硝酸カリウム$KNO_3$の飽和溶液100gを20℃に冷却すると何gの$KNO_3$が析出するか。ただし，$KNO_3$の溶解度は20℃で30，50℃で85である。

---

**考え方**

まず，問題文に出てくる温度の順に溶解度を書き出してみる。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 50℃ | 85 | 55g 析出 → | 20℃ | 30 |
| 185 | 100 | | 130 | 100 |

溶解度の差より50℃から20℃に冷却すると$85-30=55$ g析出することがわかる。

また，実際の溶液の情報を書き出してみる。

| | | |
|---|---|---|
| 50℃ | $x$g 析出 → | 20℃ |
| 100 | | |
| 〰〰〰〰㋭ | | 〰〰〰〰㋭ |

冷却前後ともに飽和溶液であることを確認し，「冷却前の溶液」と「析出量」の比例の式を作る。（実際の析出量を$x$ gとする）

$185:55=100:x$　　$x \fallingdotseq 30$(g)

# Chapter5　固体の溶解度の計算③（溶媒量の変化による析出量を求める）

要点

溶媒量の変化による析出量を求める計算

・求める析出量は「蒸発させた溶媒に含まれていた溶質の量」と考える。

## ◆ 溶媒量の変化による析出量を求める計算

溶媒が蒸発して減少したときに析出する溶質の量を求める計算では，次のように考えると簡単に求めることができる。

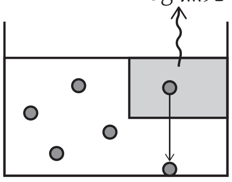
「析出量 ＝ 蒸発させた溶媒に含まれていた溶質の量」

**例題**

50℃の硝酸カリウム $KNO_3$ の飽和溶液 100g から水 20g を蒸発させ，50℃に戻すと何 g の $KNO_3$ が析出するか。ただし，$KNO_3$ の溶解度は 50℃で 85 である。

---

**考え方**




水 20g を蒸発させたときの $KNO_3$ の析出量は，右の図のように考えると，「水 20g に含まれていた $KNO_3$ の量」ととらえることができる。

以上より，溶解度と実際の溶液のデータを書き出し，「溶媒」と「溶質」で比例の式を作る。（水 20g に含まれていた $KNO_3$ の量を $x$ g とする）

| 50℃ | 85 |
|---|---|
| 185 | 100 |

| 50℃ | $x$ |
|---|---|
|  | 20 |

（ホ）

$20 : x = 100 : 85$　　$x = 17\text{(g)}$

# Chapter6　演習問題

問　40℃の硝酸カリウム $KNO_3$ の飽和溶液 243g を 20℃まで冷却したとき，析出する $KNO_3$ は何 g か。ただし，$KNO_3$ の溶解度は 40℃で 62，20℃で 30 である。

# 第 4 講　PART2　確認問題

問 1　硝酸カリウム $KNO_3$ の 30℃の溶解度を 45 とすると，30℃の $KNO_3$ 飽和溶液 290g には $KNO_3$ が（　ア　）g 含まれていることになる。この飽和溶液 290g を 10℃まで冷却すると，$KNO_3$ の 10℃の溶解度を 20 とした場合，$KNO_3$ は（　イ　）g 析出する。

また，30℃の $KNO_3$ 飽和溶液 290g から水 58g を蒸発させ，再び 30℃に戻すと，$KNO_3$ は（　ウ　）g 析出する。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　90　　②　$1.3 \times 10^2$
③　$1.9 \times 10^2$　　④　$2.4 \times 10^2$

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　50　　②　73
③　90　　④　$1.7 \times 10^2$

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　18　　②　26
③　72　　④　$1.0 \times 10^2$

< Note >

# PART3　気体の溶解度①

目標　・気体の溶解度の表し方をしっかりと理解しよう！

## Chapter1　気体の溶解度と温度の関係

要点

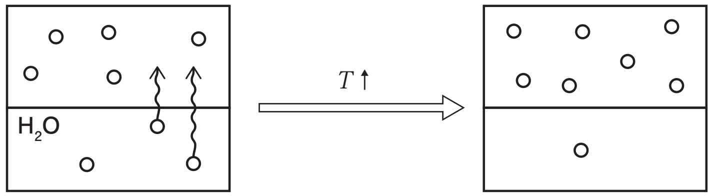
気体の溶解度と温度の関係

・温度が高くなると気体の溶解度は小さくなる。

### ◆ 気体の溶解度と温度の関係　重要

温度が上がると気体の溶解度は小さくなる。（固体溶解度とは逆なので，気をつけよう。）

理由：温度が高くなると，気体の熱運動が激しくなり，気体が水中から気相へ出ていくため。




まとめ

・気体の溶解度は，温度が高くなるほど（　　　　　　）なる。

## Chapter2　気体の溶解度の表し方

要点

気体の溶解度の表し方

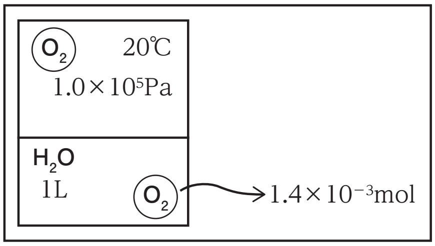
・「大気圧（$1.013 \times 10^5$Pa）のもとで一定量の水に溶解する量」で表す。

通常，体積は「0℃，$1.013 \times 10^5$Pa（標準状態）に換算したもの」で表す。

### ◆ 気体の溶解度の表し方　重要

気体の溶解度は「大気圧（$1.013 \times 10^5$Pa）のもとで一定量の水に溶解する量」で表す。

**例** 酸素は20℃，$1.0\times10^5$Pa のもとで水1Lに $1.4\times10^{-3}$mol 溶解する。



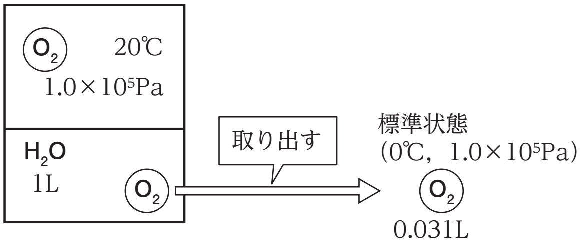

## ◆ 溶解度を体積で扱うときの注意点　重要

気体の溶解度を体積で扱うときは，通常「標準状態（0℃，$1.013\times10^5$Pa）に換算した体積」で表す。

**例** 酸素は20℃，$1.0\times10^5$Pa のもとで水1Lに対し，標準状態に換算すると0.031L溶解する。

---

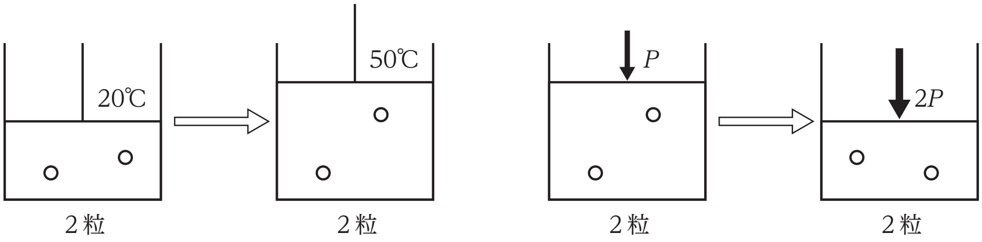
→これは「20℃，$1.0\times10^5$Pa のもとで水1Lに対し溶解している酸素を，標準状態に取り出すと0.031L」という意味である。




※なぜ，体積は標準状態に換算したもので表すのか。

物質量 mol や質量 g は環境（温度や圧力）が変わっても変化しないが，体積は環境が変化すると大きく変わってしまい比較しにくいため。

**例** 同じ2粒でも環境が変わると体積は変化してしまう。



**まとめ**

・気体の溶解度は（　　　　　　）のもとで一定量の水に溶解する量で表す。ただし，体積のときは（　　　　　　　）に換算したもので表す。

# Chapter3　ヘンリーの法則

**要点**

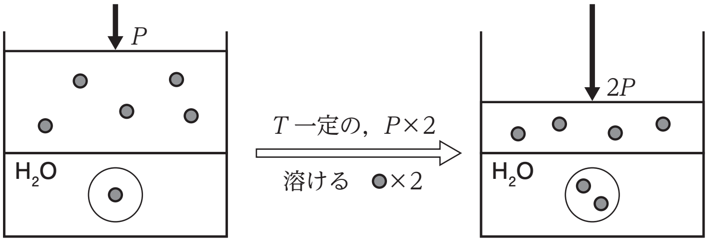
ヘンリーの法則

・温度が一定のとき，水に溶解する気体の量は，その気体の圧力(分圧)に比例する。

## ◆ ヘンリーの法則　重要

「温度が一定のとき，水に溶解する気体の量は, その気体の圧力(混合気体のときは分圧)に比例する」というのが**ヘンリーの法則**である。

**例**　温度が一定のとき，圧力が 2 倍になると，水に溶ける気体の量も 2 倍になる。




## ◆ヘンリーの法則が成立しない気体

アンモニア $NH_3$ と塩化水素 HCl は圧力に関係なく，水に非常によく溶けるため，ヘンリーの法則が成立しない。

**まとめ**

・温度が一定のとき，水に溶解する気体の量は，その気体の

（　　　　　　　　　　　　　　　）に比例する。これを

（　　　　　　　　）という。

# Chapter4　演習問題

問　ヘンリーの法則が成立しない気体を次の①～⑥の中から２つ選べ。

①　$N_2$　②　$CO_2$　③　$H_2S$　④　$NH_3$　⑤　$O_2$　⑥　HCl

# 第４講　PART3　確認問題

問１　気体の溶解度は，温度が（　ア　）ほど小さくなり，（　イ　）のもとで一定量の水に溶解する量で表される。通常，（　ウ　）は標準状態（0℃，1.013 × $10^5$Pa）に換算したもので表す。

温度が一定のとき，水に溶解する気体の量は，その気体の圧力（混合気体のときは分圧）に（　エ　）。これをヘンリーの法則という。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：低い　　イ：真空
②　ア：低い　　イ：大気圧
③　ア：高い　　イ：真空
④　ア：高い　　イ：大気圧

(2)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　物質量　　②　質量　　③　体積

(3)　文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　比例する　　②　反比例する
③　関係なく一定である

(4)　文中の下線部について，次の①～④のうち，ヘンリーの法則が成り立たない気体はどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　水素　　②　メタン
③　酸素　　④　アンモニア

< Note >

# PART4　気体の溶解度②

目標　・気体の溶解度の計算ができるようになろう！

## Chapter1　気体の溶解量の求め方

要点

気体の溶解量の求め方

・溶解量＝溶解度×圧力倍×水の体積倍

### ◆ 気体の溶解量の求め方　重要

「ある環境において気体がどれだけ水に溶けているか」すなわち「溶解量」を求める計算がこのテーマでの基本である。

(1)　**気体の溶解量は気体の圧力（分圧）に比例する**

→ ヘンリーの法則である。

(2)　**気体の溶解量は水の体積に比例する**

→ 水の量が増えると，その分気体が溶けることができる。

以上より, 気体の溶解量は気体の圧力（分圧）と水の体積に比例することがわかる。よって，気体の溶解量は次のように求めることができる。

**気体の溶解量 ＝ 溶解度 × 圧力倍 × 水の体積倍**

まとめ

・気体の溶解量＝溶解度×（　　　　　）倍×（　　　　　　　）倍

# Chapter2　気体の溶解度を用いた計算①

要点

気体の溶解度を用いた計算①（物質量や質量で扱うとき）

・気体の溶解量を求める公式に従い立式する。

### ◆気体の溶解度を用いた計算①（物質量や質量で扱うとき） 重要

物質量（粒の数）や質量は環境によって変化するものではない。そのため，気体の溶解量を求める公式にそのまま当てはめて計算すればよい。

例題

酸素は 20℃，$1.0 \times 10^5$Pa のもとで水 1 L に $1.4 \times 10^{-3}$mol 溶解する。20℃，$2.0 \times 10^5$Pa のもとで，水 1.5L に酸素は何 mol 溶解するか。

---

考え方

与えられた溶解度の「圧力 2 倍，水の体積 1.5 倍」の環境で実験しているため，溶解量は次のようになる。

$$1.4 \times 10^{-3} \times 2 \times 1.5 = \underline{4.2 \times 10^{-3}\,(\mathrm{mol})}$$

まとめ

・気体の溶解度を用いた計算において，（　　　　　　）や（　　　　　）で扱うときは，溶解量を求める公式にそのまま当てはめればよい。

# Chapter3　気体の溶解度を用いた計算②

要点

気体の溶解度を用いた計算②（体積で扱うとき）

・標準状態に換算した体積 → 溶解量を求める公式をそのまま当てはめる

・その圧力のもとでの体積 → 溶解量＝溶解度×水の体積倍

### ◆ 気体の溶解度を用いた計算②（体積で扱うとき） 重要

気体の体積は条件によって変化してしまうため，「どんな条件下での体積を問われているか」が大切になる。

まずは結論から確認してみよう。

(1) **「標準状態に換算した体積」を求めるとき**

→ 溶解量を求める公式「溶解量＝溶解度×圧力倍×水の体積倍」をそのまま利用

(2) **「その圧力(条件)下での体積」を求めるとき**

→「溶解量＝溶解度×水の体積倍」(圧力倍しない)

**例題**

窒素は0℃，$1.0 \times 10^5$Pa（標準状態とする）のもとで水1mLに0.022mL溶解する。0℃，$2.0 \times 10^5$Paのもとで水1Lに溶解する窒素は，①標準状態に換算すると何mLか。②その圧力のもとでは何mLか。

---

**考え方**

①標準状態に換算した体積を求めるため，そのまま公式を利用できる。与えられた溶解度の「圧力2倍，水の体積$10^3$倍」の環境で実験しているため，溶解量は次のようになる。

$$0.022 \times 2 \times 10^3 = \underline{\underline{44}}\,(\text{mL})$$

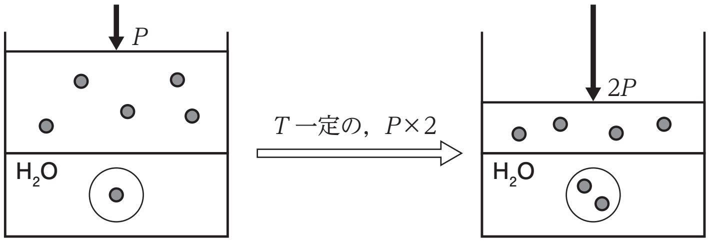
②その圧力のもとでの体積を求めるため，圧力倍してはいけない。

$$0.022 \times 10^3 = \underline{\underline{22}}\,(\text{mL})$$

## ◆「その圧力のもとでの体積」を求めるときに圧力倍しない理由

まず，溶解する気体の物質量を確認してみよう。

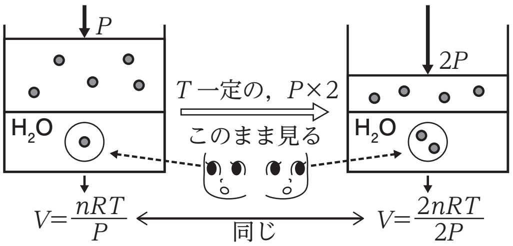
圧力が2倍（$P$から$2P$）になると，ヘンリーの法則より，溶解する気体の物質量も2倍になる。




では，体積に注目してみよう。

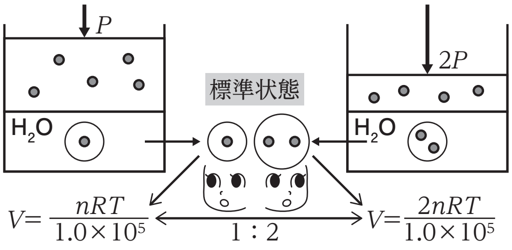
・その圧力下（そのままの状態）で溶解している気体を見る

そのままの状態で見てみると，圧力が２倍になっても，溶解している気体の体積は同じに見える。（溶解する物質量は２倍になっても，２倍の圧力で押さえつけているため同じに見える）




・標準状態に取り出して（換算して）溶解している気体を見る

標準状態に取り出してみると，物質量は２倍，圧力は同じになるため，$P$ のときと比べ $2P$ のときは体積は２倍に見える。




**まとめ**

・気体の溶解量を体積で求めるときは，その条件に注目する。「その圧力のもとでの体積」を求めるときは（　　　　　）しない。

# Chapter4　演習問題

**問**　酸素は０℃，$1.0\times10^5$Pa（標準状態とする）のもとで水１L に $2.2\times10^{-3}$mol 溶解する。0℃，$2.0\times10^5$Pa のもとで水 1L に溶解する酸素は，①何 mol か。②その圧力のもとでは何 mL か。

# 第 4 講　PART4　確認問題

問 1　窒素は 20℃, $1.0 \times 10^5$Pa のもとで水 1.0L に $7.0 \times 10^{-4}$ mol 溶解するので，20℃，$5.0 \times 10^4$Pa のもとで水 5.0L には（　ア　）mol 溶解する。

また，窒素は 0℃，$1.0 \times 10^5$Pa のもとで水 1.0mL に 0.022mL 溶解するので，0℃, $5.0 \times 10^4$Pa のもとで水 5.0mL には，0℃，$1.0 \times 10^5$Pa に換算すると（　イ　）mL 溶解し，その圧力のもとでは（　ウ　）mL 溶解する。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$3.5 \times 10^{-4}$　　②　$7.0 \times 10^{-4}$
③　$1.8 \times 10^{-3}$　　④　$3.5 \times 10^{-3}$

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　0.011　　②　0.022
③　0.055　　④　0.11

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　0.011　　②　0.022
③　0.055　　④　0.11

< Note >

# PART5　希薄溶液の性質①（蒸気圧降下・沸点上昇）

**目標**　・希薄溶液に見られる現象を理解し，それに関する計算ができるようになろう！

## Chapter1　希薄溶液

**要点**

希薄溶液

・溶液の性質は，溶質の種類には関係なく粒子数（濃度）のみに左右される。

### ◆ 希薄溶液　重要

一般的に質量モル濃度が 0.1mol/kg 以下の溶液を希薄溶液といい，皆さんが化学で扱う溶液は基本的に全て希薄溶液である。

希薄溶液は濃度が小さく溶質粒子間の距離が大きいため，粒子間にはたらく力は無視することができる。すなわち，希薄溶液の性質は溶質の種類に左右されることがない。

希薄溶液の性質は，溶質粒子の粒子数（溶液の濃度）のみに左右される。

$C_6H_{12}O_6$ aq　　$C_{12}H_{22}O_{11}$ aq

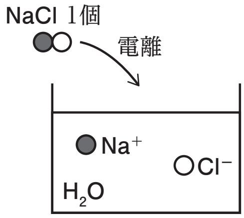
粒子数同じ → 蒸気圧降下度 など同じ

以上より，希薄溶液の性質を考えるときは粒子数に気をつけよう！

特に粒子数に気をつけなくてはならないのが，

電解質（イオン結晶）の水溶液である。

**例**　NaClaq




粒子（イオン）2個

**まとめ**

・希薄溶液の性質は溶質の種類は関係なく，溶質粒子の（　　　　　）のみに左右される。

# Chapter2 蒸気圧降下

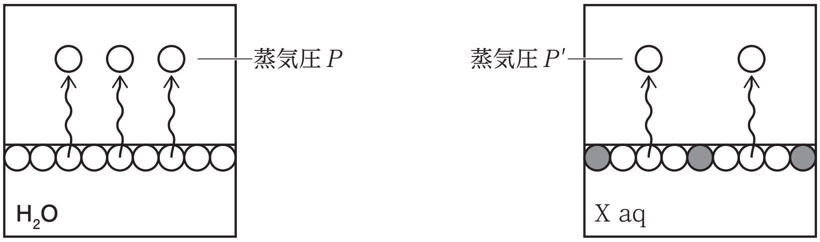
要点

蒸気圧降下

・希薄溶液の蒸気圧は，溶媒の蒸気圧に比べて低くなる。

## ◆蒸気圧降下 重要

溶媒（水）と，水溶液（Xaq）の蒸気圧を比較してみよう。




水の蒸気圧（$P$）

容器に水を入れると，液面付近の水分子のうち，熱運動の激しい分子のみが気相に飛び出していく。すなわち蒸発が起こる。

Xaq の蒸気圧（$P'$）

溶質粒子の存在により液面付近の水分子が減るため，蒸発する水分子は減少する。すなわち，水のみのときに比べて，蒸気圧は降下する。

以上より，希薄溶液の蒸気圧は，溶媒の蒸気圧に比べて低くなる（$P>P'$）。この現象を**蒸気圧降下**という。

まとめ

・希薄溶液の蒸気圧は，溶媒のみの蒸気圧に比べて（　　　　）なる。この現象を（　　　　　　）という。

# Chapter3　沸点上昇

要点

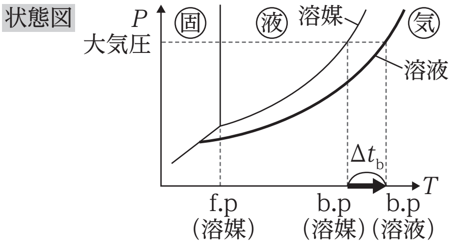
**沸点上昇**

・希薄溶液の沸点は，溶媒の沸点に比べて高くなる。

## ◆ 沸点上昇　重要

状態図を使って確認してみよう。

「希薄溶液の蒸気圧は溶媒の蒸気圧に比べて低くなる(蒸気圧降下)」ということがわかったので，溶媒の蒸気圧曲線を下にずらしたものが溶液の蒸気圧曲線となる。




上図より，蒸気圧が下がると沸点が上昇することがわかる。

このように，希薄溶液の沸点は溶媒の沸点に比べて高くなる。この現象を**沸点上昇**という。

まとめ

・希薄溶液の沸点は，溶媒のみの沸点に比べて（　　　　　）なる。この現象を（　　　　　　　　）という。

# Chapter4　沸点上昇度Δ$t_b$とその計算

要点

**沸点上昇度Δ$t_b$とその計算**

・沸点上昇度Δ$t_b$：希薄溶液の沸点と溶媒の沸点の差

$\Delta t_b = K_b \times m$　　$K_b$：モル沸点上昇（比例定数）単位は（K・kg/mol）

$m$：質量モル濃度（mol/kg）

## ◆ 沸点上昇度$\Delta t_b$とその求め方 重要

「溶媒に比べて，どれだけ沸点が上昇したか」すなわち「希薄溶液と溶媒の沸点の差」を**沸点上昇度**（$\Delta t_b$）という。

沸点上昇度$\Delta t_b$の求め方を考えてみよう。

希薄溶液の溶質の量が増えるほど（濃度が高くなるほど），蒸気圧は下がる。すなわち，希薄溶液の濃度が高くなるほど，蒸気圧曲線が下にずれ，沸点は上昇する（沸点上昇度$\Delta t_b$が大きくなる）ことになる。

以上より，希薄溶液の質量モル濃度を$m$(mol/kg)とすると，沸点上昇度$\Delta t_b$は次のように求めることができる。

$\Delta t_b = K_b \times m$　　　　$K_b$：モル沸点上昇（溶媒固有の比例定数）

この式を使って沸点上昇度$\Delta t_b$を求めるとき，溶質が電解質のときには「何粒に電離するか」を確認し，濃度$m$にその数をかけることを忘れないようにしよう。

**例題**

0.100mol/kgの塩化ナトリウム水溶液の沸点は何℃か。ただし，塩化ナトリウムは水中で完全に電離するものとし，水のモル沸点上昇は0.515(K・kg/mol)である。

---

**考え方**

沸点上昇度$\Delta t_b$を求める式に数値を代入する。ただし，NaClは水中で$Na^+$と$Cl^-$に電離するため，粒子の質量モル濃度は0.100 × 2(mol/kg)になることに注意。

$$\Delta t_b = 0.515 \times 0.100 \times 2 = 0.103\ (℃)$$

よって，塩化ナトリウム水溶液の沸点は次のようになる。

$$100 + 0.103 = 100.103\ (℃)$$

**まとめ**

・モル沸点上昇を$K_b$（K・kg/mol），溶液の質量モル濃度を$m$（mol/kg）とすると，沸点上昇度$\Delta t_b$は次のように表すことができる。$\Delta t_b$ =（　　　　　）

# Chapter5　演習問題

**問**　ある不揮発性の非電解質 4.5g を水 1000g に溶解させた水溶液の沸点は 100.013℃であった。この非電解質の分子量はいくらか。ただし，水のモル沸点上昇は 0.52(K・kg/mol)とする。

< Note >

# 第 4 講　PART5　確認問題

問 1　一般的に濃度が（　ア　）mol/kg 以下の溶液を希薄溶液といい，希薄溶液は溶質粒子の（　イ　）によって性質が左右される。

希薄溶液では，蒸気圧は溶媒のみの場合と比べ（　ウ　）なり，沸点は（　エ　）。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　0.001　　②　0.01

③　0.1　　④　1

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　種類　　②　粒子数　　③　大きさ

(3)　文中の（　ウ　），（　エ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ウ：低く　　エ：下がる

②　ウ：低く　　エ：上がる

③　ウ：高く　　エ：下がる

④　ウ：高く　　エ：上がる

(4)　塩化マグネシウム 0.95g を水 400g に溶解させた水溶液の沸点は何℃か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，塩化マグネシウムは水中で完全に電離するものとし，水のモル沸点上昇は 0.52(K・kg/mol) とする。また，原子量は Mg：24，Cl：35.5 とする。

①　100.013℃　　②　100.026℃

③　100.039℃　　④　100.052℃

## < Note >

# PART6　希薄溶液の性質②(凝固点降下・冷却曲線)

目標　・凝固点降下と冷却曲線の関係をしっかりと理解しよう！

## Chapter1　凝固点降下

要点

凝固点降下

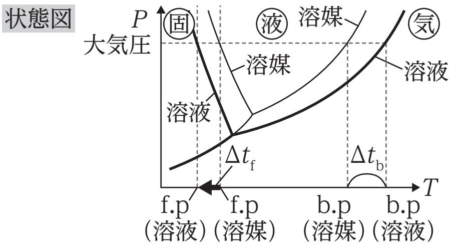
・希薄溶液の凝固点は，溶媒の凝固点に比べて低くなる。

### ◆ 凝固点降下　重要

状態図を使って確認してみよう。

「希薄溶液の蒸気圧は溶媒の蒸気圧に比べて低くなる(蒸気圧降下)」ということがわかったので，溶媒の蒸気圧曲線を下にずらしたものが溶液の蒸気圧曲線となる。

それにともない，融解曲線も下にずれることがわかる。すなわち，凝固点が低くなる。




このように，希薄溶液の凝固点は溶媒の凝固点に比べて低くなる。この現象を**凝固点降下**という。

まとめ

・希薄溶液の凝固点は，溶媒の凝固点に比べて（　　　　）なる。この現象を（　　　　　　）という。

# Chapter2　凝固点降下度$\Delta t_f$とその計算

要点

**凝固点降下度$\Delta t_f$とその計算**

・凝固点降下度$\Delta t_f$：希薄溶液の凝固点と溶媒の凝固点の差

$\Delta t_f = K_f \times m$　　$K_f$：モル凝固点降下（比例定数）単位は（K・kg/mol）

$m$：質量モル濃度（mol/kg）

## ◆ 凝固点降下度$\Delta t_f$とその求め方　重要

「溶媒に比べて，どれだけ凝固点が降下したか」すなわち「希薄溶液と溶媒の凝固点の差」を**凝固点降下度**（$\Delta t_f$）という。

凝固点降下度$\Delta t_f$の求め方を考えてみよう。

希薄溶液の濃度が高くなるほど蒸気圧曲線は下にずれる。それにともない，融解曲線も下にずれるため凝固点は低くなる。すなわち，希薄溶液の濃度が高いほど，凝固点は低くなる（凝固点降下度$\Delta t_f$が大きくなる）。

以上より，希薄溶液の質量モル濃度を$m$(mol/kg)とすると，凝固点降下度$\Delta t_f$は次のように求めることができる。

$\Delta t_f = K_f \times m$　　　$K_f$：モル凝固点降下（溶媒固有の比例定数）

この式を使って凝固点降下度$\Delta t_f$を求めるとき，溶質が電解質のときには「何粒に電離するか」を確認し，濃度$m$にその数をかけることを忘れないようにしよう。

**例題**

ある不揮発性の非電解質27.36gを水200gに溶解させた水溶液の凝固点は－0.740℃であった。この非電解質の分子量はいくらか。ただし，水のモル凝固点降下は1.85(K・kg/mol)とする。

---

**考え方**

凝固点が－0.740℃であったことから，凝固点降下度$\Delta t_f$は次のようになる。

$\Delta t_f = 0 - (-0.740) = 0.740$(℃)

これより，非電解質の分子量を$M$とすると次の式が成立する。

$$\Delta t_f = 1.85 \times \frac{\frac{27.36}{M}}{\frac{200}{1000}} = 0.740 \qquad M = \underline{\underline{342}}$$

まとめ

・モル凝固点降下を $K_f$(K・kg/mol)，溶液の質量モル濃度を $m$(mol/kg)とすると，凝固点降下度 $\Delta t_f$ は次のように表すことができる。$\Delta t_f$ ＝ (　　　　　　)

# Chapter3　冷却曲線と凝固点降下度 $\Delta t_f$

要点

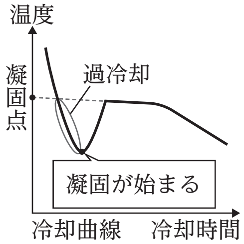
冷却曲線と凝固点降下度 $\Delta t_f$

・溶媒と溶液の冷却曲線から凝固点降下度 $\Delta t_f$ を求めることができる。

## ◆ 冷却曲線と凝固点降下度　重要

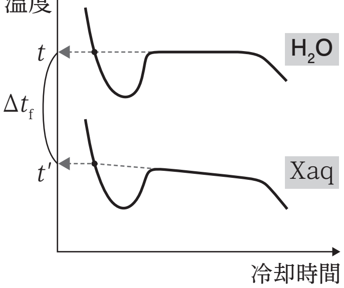
冷却曲線（溶媒や溶液を冷却したときの温度変化を表すグラフ）について思い出してみよう。

冷却曲線は右図のようなグラフで，ポイントは以下である。




・グラフの一番低い点で凝固が始まる。
（過冷却：凝固点を過ぎても凝固が始まらない現象）
・凝固開始予定点が凝固点となる。

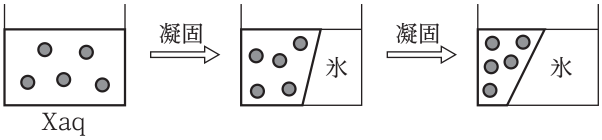
水の冷却曲線と水溶液の冷却曲線を並べると右のグラフのようになる。




２つのグラフの凝固点の差が凝固点降下度 $\Delta t_f$ となる。

※凝固が始まっても，水溶液の温度が下がり続けている（右下がりのグラフになっている）理由

溶液を冷却すると，溶媒が凝固するため溶液の濃度が上昇し，それにともない凝固点が降下し続ける。




**まとめ**

・溶媒と溶液の冷却曲線からわかる各凝固点の差が，溶液の（　　　　　　　　）となる。

## Chapter4　演習問題

**問**　次の①～⑤のうち，最も凝固点が低い溶液を選びなさい。ただし，電解質は水中で完全に電離するものとする。

① 0.080mol/kg グルコース $C_6H_{12}O_6$ 水溶液
② 0.080mol/kg 塩化ナトリウム NaCl 水溶液
③ 0.080mol/kg 塩化カルシウム $CaCl_2$ 水溶液
④ 0.100mol/kg 塩化ナトリウム NaCl 水溶液
⑤ 0.200mol/kg スクロース $C_{12}H_{22}O_{11}$ 水溶液

# 第 4 講　PART6　確認問題

問 1　水のモル凝固点降下を 1.85(K・kg/mol)とし，電解質は水中で完全に電離するものとすると，0.020mol/kg の塩化カリウム水溶液の凝固点は（　ア　）℃になる。

一方，0.020mol/kg の塩化マグネシウム水溶液の凝固点は（　イ　）℃になるので，同じ濃度では，凝固点は（　ウ　）ことがわかる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　− 0.037　　②　− 0.074

③　− 0.111　　④　− 0.148

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　− 0.037　　②　− 0.074

③　− 0.111　　④　− 0.148

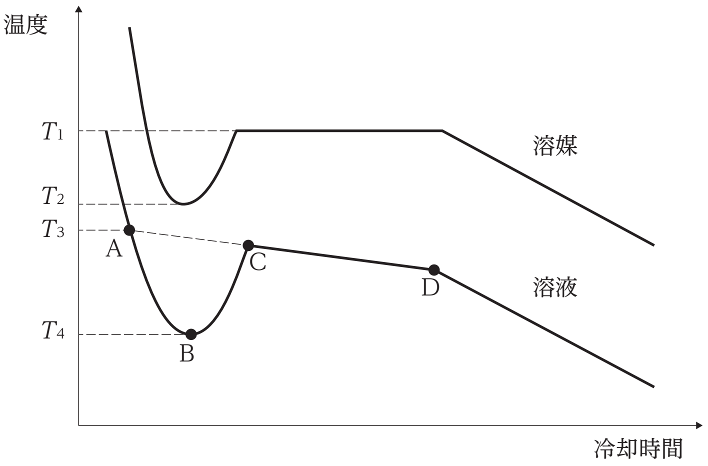
(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　塩化カリウム水溶液の方が低い

②　塩化マグネシウム水溶液の方が低い

③　等しくなる

**問 2**　次の図は，ある溶媒とその溶媒に溶質を溶かした溶液の冷却曲線を表している。この図について，後の問いに答えよ。




(1)　溶液の凝固点降下度を表しているものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$T_1 - T_3$　　②　$T_1 - T_4$

③　$T_2 - T_3$　　④　$T_2 - T_4$

(2)　実際に溶液の凝固が始まる点として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　A　　②　B

③　C　　④　D

# PART7　希薄溶液の性質③（浸透圧）

目標　・浸透圧とは何かを理解し，計算できるようになろう！

## Chapter1　浸透圧

要点

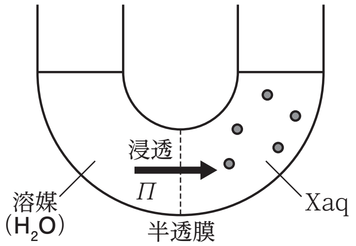
浸透圧

・半透膜を通じて，溶媒が溶液側に浸透しようとする圧力。浸透を食い止めるために溶液の液面に加える圧力に等しい。

### ◆ 浸透圧　重要

下図のように，中央を半透膜※で仕切ったU字管に，左右同じ高さで水（溶媒）とX水溶液を入れる。

※溶液中の特定の成分のみを通過させる膜。ここでは溶媒のみ通過させる膜。




この状態で放置すると，溶媒が溶液側に浸入する。これを**浸透**といい，浸透しようとする圧力を**浸透圧**という。この圧力は，溶媒の浸透を食い止めるために溶液の液面に加える圧力と一致する。

まとめ

・溶媒と溶液を半透膜で仕切って放置すると，（　　　　）が（　　　　）側に浸透しようとする。この圧力を（　　　　）という。

# Chapter2　浸透圧を求める計算

要点

浸透圧を求める計算

・浸透圧$\Pi$と溶液の濃度 $c$(mol/L)の関係式

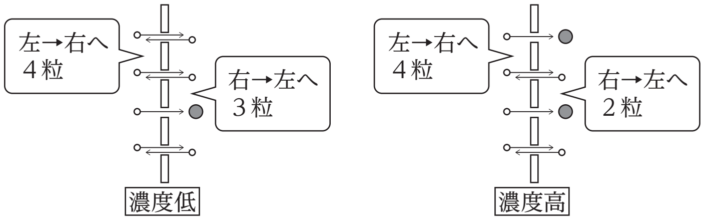
$\Pi = c \times R \times T$　　　$R$：気体定数，$T$：絶対温度

## ◆ 浸透圧を求める計算 重要

オランダのファントホッフは，1886 年に「希薄溶液の浸透圧が溶液のモル濃度と絶対温度に比例する」ことを発見した。これを**ファントホッフの法則**という。

**・浸透圧とモル濃度の関係**

下図のように，溶液の濃度が高いほど，溶媒が浸透する圧力が大きくなることがわかる。




◦× 1 コ分が左から右へ浸透　◦× 2 コ分が左から右へ浸透

**・浸透圧と温度の関係**

温度が高いと，溶媒の熱運動が激しくなり浸透する圧力が大きくなる。

以上より，浸透圧を$\Pi$(Pa)，溶液のモル濃度を $c$(mol/L)，絶対温度を $T$(K)とすると，次のように表すことができる。

$$\Pi = c \times R \times T$$

上の式のモル濃度 $c$ を $\dfrac{\text{物質量}\,n}{\text{体積}\,V}$ と置き換えると，

$$\Pi = c \times R \times T \rightarrow \Pi = \frac{n}{V} \times R \times T \quad (\Pi V = nRT)$$

となり，気体の状態方程式と同じになることがわかる。

理想気体も希薄溶液の性質も，粒子間の引力を無視しているためである。

### ◆ 浸透圧と液面差の関係

U字管で実験をおこない，しばらく放置したとき，溶媒と溶液の液面差が $h$cm のところで停止したとする。

このとき，浸透圧$\Pi$と溶液 $h$cm の重さによる圧力が釣り合っている。

$$\underline{\Pi = c \times R \times T = \text{溶液 } h\text{cm 分の重さによる圧力}}$$

**例題**

ある非電解質 1.8g を水に溶かして 200mL の水溶液とした。この水溶液の浸透圧は，27℃で $8.3 \times 10^3$Pa であった。この非電解質の分子量はいくらか。ただし，気体定数 $R$ は $8.3 \times 10^3$(Pa･L/mol･K)とする。

---

**考え方**

非電解質の分子量を $M$ として，浸透圧を求める式を立ててみよう。

$$8.3 \times 10^3 = \frac{\frac{1.8}{M}}{\frac{200}{1000}} \times 8.3 \times 10^3 \times (27+273) \qquad M = \underline{\underline{2.7 \times 10^3}}$$

**まとめ**

・浸透圧$\Pi$は溶液の（　　　　　　）と（　　　　　　）に比例する。

# Chapter3　演習問題

問　27℃において，0.100mol/L のグルコース水溶液と同じ浸透圧になる塩化ナトリウム水溶液 1.00L を作るには，塩化ナトリウム(式量 58.5)を何 g 溶解させればよいか。ただし，塩化ナトリウムは水中で完全に電離する。

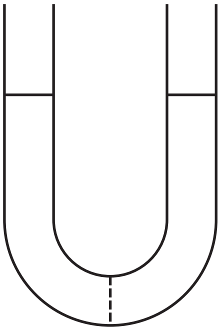
< Note >

# 第 4 講　PART7　確認問題

問 1　下の図のように，中央を半透膜で仕切ったＵ字管に，左右同じ高さで水とグルコース水溶液をそれぞれ入れた。

この状態で放置すると，（　ア　）側に浸透するので，（　イ　）の液面が上昇した。

27℃において，グルコース水溶液の濃度が $2.0 \times 10^{-2}$ mol/L のとき，浸透圧は（　ウ　）Pa となる。また，グルコース水溶液の濃度を濃くしたとき，浸透圧は（　エ　）。




(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：溶媒が溶液　　イ：水
②　ア：溶媒が溶液　　イ：グルコース水溶液
③　ア：溶液が溶媒　　イ：水
④　ア：溶液が溶媒　　イ：グルコース水溶液

(2)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，気体定数 $R$ は $8.3 \times 10^3$(Pa・L/mol・K)とする。

①　$4.5 \times 10^3$　　②　$5.0 \times 10^4$
③　$2.5 \times 10^6$　　④　$1.2 \times 10^8$

⑶ 文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 大きくなる　② 小さくなる

③ 変わらない

⑷ 27℃において，ある非電解質 5.0g を水に溶かして 200mL の水溶液とした。この水溶液の浸透圧が $8.3 \times 10^4$Pa のとき，非電解質の分子量はいくらか。ただし，気体定数 $R$ は $8.3 \times 10^3$(Pa・L/mol・K)とする。

① 68　② 75

③ $6.8 \times 10^2$　④ $7.5 \times 10^2$

# PART8　コロイド

目標　・コロイド粒子の性質をしっかりと押さえよう！

## Chapter1　コロイド粒子

要点

コロイド粒子

・直径 $10^{-9}$ ～ $10^{-7}$m の粒子。

　コロイド粒子が分散した状態または物質をコロイドという。

### ◆ コロイド粒子　重要

コロイド粒子とは，直径 $10^{-9}$ ～ $10^{-7}$m の粒子である。

通常の分子やイオンより大きく，ろ紙は通過できるが半透膜は通過できない。

### ◆ コロイド　重要

一般にコロイドとは，コロイド粒子が分散した状態または物質のことである。

コロイド粒子のように分散している物質を**分散質**, 分散させている物質を**分散媒**という。

例　塩化鉄(Ⅲ)水溶液を沸騰水に入れると水酸化鉄(Ⅲ)が分散したコロイド溶液ができる。

(分散質：水酸化鉄(Ⅲ)，分散媒：水)

まとめ

・コロイド粒子とは，直径（　　　　　）～（　　　　　）m の粒子のことである。

（　　　　）は通過できるが（　　　　）は通過できない。

# Chapter2　コロイドの分類

**要点**

コロイドの分類

・流動性による分類：コロイド溶液（ゾル）・ゲル・キセロゲル

コロイド粒子の構造による分類：分子コロイド・会合コロイド（ミセルコロイド）

分散コロイド

## ◆ 流動性による分類

コロイドは流動性により次のように分類できる。

・**コロイド溶液（ゾル）**：流動性をもつ。　例 水酸化鉄(Ⅲ)水溶液

・**ゲル**：流動性を失って固まった状態。　例 ゼラチン

・**キセロゲル**：ゲルを乾燥させたもの。　例 シリカゲル

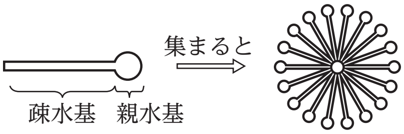
## ◆ コロイド粒子の構造による分類

コロイドは，コロイド粒子の構造によって次のように分類できる。

・**分子コロイド**：分子量が大きく，１分子でコロイド粒子になるもの。

例 タンパク質，デンプン

・**会合コロイド（ミセルコロイド）**：多数の分子が集まった集合体（ミセル）でコロイド粒子になるもの。　例 せっけん




・**分散コロイド**：通常は沈殿となる粒子が，あまり大きくならずにコロイド粒子として分散しているもの。　例 水酸化鉄(Ⅲ)

**まとめ**

・コロイドは流動性により（　　　　　　　　）・（　　　　）・（　　　　　）に分類できる。

・また，コロイド粒子の構造により（　　　　　）・（　　　　　　　　）・（　　　　　）に分類できる。

# Chapter3　コロイド溶液の性質①

要点

コロイド溶液の性質①

・チンダル現象：コロイド溶液に強い光線を照射すると光の通路が明るく輝いて見える現象。

・ブラウン運動：コロイド粒子の不規則な運動。(限外顕微鏡で観察できる)

## ◆ チンダル現象　重要

コロイド溶液に強い光線を照射すると光の通路が明るく輝いて見える現象。

コロイド粒子が大きく，光を散乱させることが原因である。

## ◆ ブラウン運動　重要

コロイド粒子の不規則な運動。

熱運動をしている水分子(分散媒分子)の衝突が原因である。

ブラウン運動は**限外顕微鏡**（側面から光を当てて観察する顕微鏡）で観察することができる。

これらはコロイド粒子が大きいことが原因で見られる現象である。

まとめ

・コロイド溶液に強い光線を照射すると, コロイド粒子が光を (　　　　) させるため, 光の通路が明るく見える。この現象を（　　　　　　　）という。

・また，コロイド粒子の不規則な運動を（　　　　　　　）といい,
（　　　　　　）で観察できる。

# Chapter4　コロイド溶液の性質②

**要点**

コロイド溶液の性質②

透析　　：コロイド粒子の大きさを利用した分離方法。

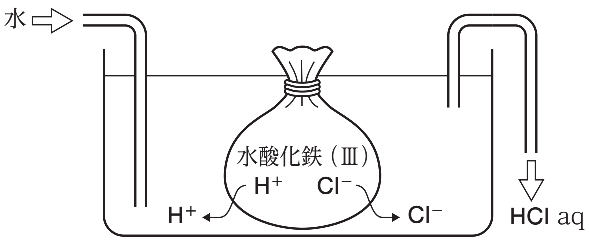
電気泳動：コロイド溶液に直流電圧をかけると，コロイド粒子がどちらかの電極側に移動する現象。

## ◆ 透析 重要

「コロイド粒子と普通の分子やイオンが混合している溶液」をセロハンに包んで水に浸し，コロイド粒子だけを分離する操作。

これは，コロイド粒子が大きくセロハンを通過できないことが原因である。

例 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を沸騰水に入れると，水酸化鉄(Ⅲ)のコロイド溶液が生成する。この溶液から水酸化鉄(Ⅲ)のコロイド粒子のみを分離するときに透析を利用。




## ◆ 電気泳動 重要

コロイド溶液に直流の電圧をかけると,コロイド粒子がどちらかの電極に移動する現象。

これは，コロイド粒子が正または負に帯電していることが原因で起こる。コロイド粒子自身がもつ電荷とは反対の電極に引き付けられる。

例 水酸化鉄(Ⅲ)は正コロイド → 陰極側へ移動

**まとめ**

・コロイド粒子の大きさを利用してコロイド粒子を分離する方法を（　　　　）という。

・また，コロイド粒子は正または負に帯電しているため，コロイド溶液に直流電圧をかけると自身の電荷とは逆の電極へ移動する。この現象を（　　　　）という。

# Chapter5　親水コロイド・疎水コロイド

要点

親水コロイド・疎水コロイド

親水コロイド：分子内に多くの親水基を持ち，多くの水分子と水和しているコロイド粒子。

疎水コロイド：親水性が弱く，ほとんど水和されていないコロイド粒子。

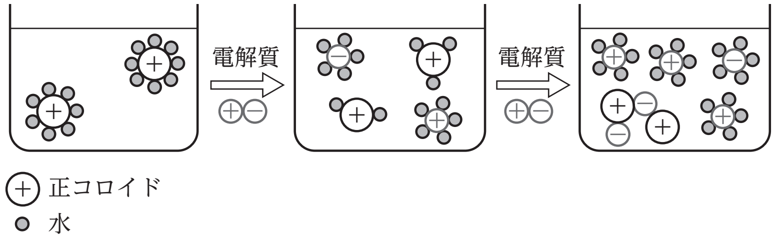
## ◆ 親水コロイド　重要

分子内に多くの親水基を持ち，多くの水分子と水和しているコロイド粒子。基本的に有機化合物のコロイドは親水コロイドである。

例　タンパク質，デンプン

親水コロイドに多量の電解質を加えていくと沈殿する。この現象を**塩析**という。

電解質を加えることで，水和している水分子が引き離され，さらにコロイド粒子の電荷が中和されることで起こる。



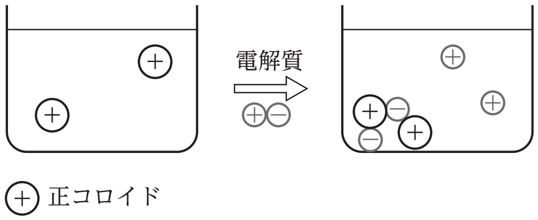

## ◆ 疎水コロイド　重要

親水性が弱く，ほとんど水和されていないコロイド粒子。基本的に無機化合物のコロイドは疎水コロイドである。

例　水酸化鉄(Ⅲ)，粘土

疎水コロイドに少量の電解質を加えていくと沈殿する。この現象を**凝析**という。

電解質を加えることで，コロイド粒子の電荷が中和されることで起こる。



「疎水コロイドに少量の電解質を加えても凝析が起こらないようにするため」に加える親水コロイドを**保護コロイド**という。

親水コロイドが疎水コロイドを取り囲むことで，少量の電解質では沈殿しなくなる。

**例** にかわ（墨汁に加える親水コロイド）

### ◆ 電解質の価数と塩析・凝析 重要

コロイド粒子の電荷を中和する能力は，コロイド粒子と反対の電荷をもつイオンの価数で決まる。

**例** 正コロイドである水酸化鉄(Ⅲ)を凝析させる能力

NaCl 2 mol < $Na_2SO_4$ 1 mol

→ ともに，陰イオンがもつ負電荷の合計は同じである。

NaCl 2 mol に含まれる負電荷：$Cl^- \times 2$

$Na_2SO_4$ 1 mol に含まれる負電荷：$SO_4^{2-} \times 1$

しかし，価数が大きい方（$SO_4^{2-}$）が凝析させる能力が高い。

**まとめ**

・親水コロイドに（　　　　）の電解質を加えると沈殿する。この現象を（　　　　）という。

・疎水コロイドに（　　　　）の電解質を加えると沈殿する。この現象を（　　　　）という。

## Chapter6　演習問題

問　硫黄のコロイド溶液に電解質を加えて，硫黄のコロイド粒子を凝析させたい。このとき，最も少ない量で凝析できるのは①～⑤のどれか。ただし，硫黄は負に帯電したコロイド粒子である。

① NaCl　② $Na_2SO_4$　③ $Na_3PO_4$　④ $CaCl_2$　⑤ $Al_2(SO_4)_3$

# 第 4 講　PART8　確認問題

問 1　直径（　ア　）m の粒子をコロイド粒子といい，コロイド粒子が分散した状態や物質を(a)コロイドという。コロイド粒子は大きさが大きいことから，(b)コロイド溶液にはある特徴的な性質が確認できる。コロイド粒子の大きさを利用した分離方法を（　イ　）という。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$10^{-12} \sim 10^{-10}$　　②　$10^{-11} \sim 10^{-9}$

③　$10^{-10} \sim 10^{-8}$　　④　$10^{-9} \sim 10^{-7}$

(2)　文中の下線部(a)について，コロイドを流動性によって分類した場合，冷却したゼラチンは何に該当するか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　ゾル　　②　ゲル

③　キセロゲル

(3)　文中の下線部(b)について，コロイド溶液に強い光線を照射したときに光の通路が明るく輝いて見える現象を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　チンダル現象　　②　ブラウン運動

③　透析　　④　電気泳動

(4)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　塩析　　②　透析

③　凝析

**問2** コロイド粒子のうち，粒子内に多くの親水基を持ち，多くの水分子と水和しているものを(a)<u>親水コロイド</u>という。親水コロイドに多量の電解質を加えていくと沈殿するが，この現象は（　ア　）という。

一方，親水性が弱く，ほとんど水和されていないコロイド粒子を疎水コロイドという。疎水コロイドに少量の電解質を加えていくと沈殿するが，この現象は（　イ　）といい，これが起こらないようにするために加える親水コロイドを(b)<u>保護コロイド</u>という。

(1) 文中の下線部(a)について，親水コロイドとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① タンパク質　② 水酸化鉄(Ⅲ)
③ 粘土

(2) 文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 塩析　② 透析
③ 凝析

(3) 文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 塩析　② 透析
③ 凝析

(4) 文中の下線部(b)について，保護コロイドとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① デンプン　② タンパク質
③ 墨汁に加えられたにかわ

第 **5** 講　化学反応と熱・光エネルギー（熱化学）

# PART1　熱化学の基本事項

目標　・熱化学を学ぶ上での基本事項を押さえよう！

## Chapter1　化学反応とエンタルピー

要点

エンタルピー変化 $\Delta H$

・生成物がもつエンタルピーと反応物がもつエンタルピーの差。

・発熱反応では $\Delta H < 0$，吸熱反応では $\Delta H > 0$ となる。

### ◆ 発熱反応と吸熱反応　重要

熱を放出しながら進む反応を**発熱反応**，熱を吸収しながら進む反応を**吸熱反応**という。

例えば，水溶液中で溶質が発熱反応を起こすと水溶液全体の温度は上昇する。吸熱反応はその逆である。

### ◆ 反応エンタルピー　重要

物質がもつエネルギーは**エンタルピー** $H$（**熱含量**ともいう）とよばれる量で表すことができる。物質がもつトータルの熱量といったイメージでよい。

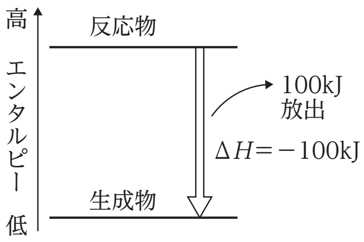
また，一定圧力で化学反応に伴って放出・吸収する熱量を**反応エンタルピー**という。反応エンタルピーは生成物がもつエンタルピーと反応物がもつエンタルピーの差に相当する**エンタルピー変化** $\Delta H$ で表す。

**・発熱反応のエンタルピー変化 $\Delta H$**

発熱反応では熱を放出するため，反応物のエンタルピーに比べて生成物のエンタルピーは小さくなる。

すなわち発熱反応では $\Delta H < 0$ となる。

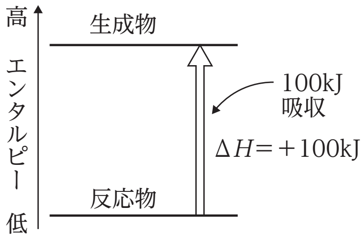
**例**　100 kJ の発熱反応→ $\Delta H = -100\text{kJ}$



**・吸熱反応のエンタルピー変化$\Delta H$**

吸熱反応では熱を吸収するため，反応物のエンタルピーに比べて生成物のエンタルピーは大きくなる。すなわち吸熱反応では$\Delta H > 0$となる。

**例** 100 kJ の吸熱反応→$\Delta H = +$ 100kJ




**まとめ**

・反応物がもつエンタルピーと生成物がもつエンタルピーの差を（　　　　　　　　）といい，発熱反応では（　　　）の値，吸熱反応では（　　　）の値となる。

# Chapter2　化学反応式とエンタルピー変化

**要点**

化学反応式とエンタルピー変化

・注目する物質の係数は必ず1にする。

・物質の状態をつける。

・反応式の後ろにエンタルピー変化$\Delta H$をつける。

## ◆ エンタルピー変化を付した反応式 重要

化学反応に伴う熱の出入りを考えるときには，エンタルピー変化を付した反応式で考える。

**作り方** 水素の燃焼により 286kJ の熱が放出される反応（生成物の水は液体とする）

(1) 反応物と生成物を書く。

$H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$

(2) 注目する物質の係数を1にし，他の物質の係数（分数になっても可）を決める。

注目する物質は水素である。（水素の燃焼）

$1H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 1H_2O$

係数1は通常省略する。

(3) 各物質に状態をつける。

固体：(固) または (s)，液体：(液) または (l)，気体：(気) または (g)

$H_2$(気) $+ \frac{1}{2}O_2$(気) $\rightarrow H_2O$ (液)

ただし，常温常圧(25℃，$1.013 \times 10^5$Pa)で気体の物質の状態は省略することが多い。

(4)　反応式の後ろにエンタルピー変化$\Delta H$を書く。

286kJの発熱反応なので，$\Delta H = -286$kJである。

$H_2$(気) $+ \frac{1}{2}O_2$(気) → $H_2O$ (液)　$\Delta H = -286$kJ

**まとめ**

・エンタルピー変化を考える化学反応式では，注目する物質の係数を（　　　）にし，各物質の（　　　）をつける。

# Chapter3　反応エンタルピーの種類

**要点**

反応エンタルピーの種類

・燃焼エンタルピー：物質1 molが完全燃焼するときのエンタルピー変化。

・生成エンタルピー：物質1 molが構成元素の単体から生成するときのエンタルピー変化。

・溶解エンタルピー：物質1 molが多量の溶媒に溶解するときのエンタルピー変化。

・中和エンタルピー：酸と塩基が反応し，水1 molが生成するときのエンタルピー変化。

## ◆ 反応エンタルピーの種類　重要

代表的な反応エンタルピーには固有の名称がついており，次のような種類がある。それぞれ，注目する物質1 molあたりで表すため，文章中では単位が(kJ/mol)になることに気をつけよう。

**・燃焼エンタルピー**

物質1 molが完全燃焼するときのエンタルピー変化。燃焼反応は発熱なので，$\Delta H$は必ず負の値となる。

例　COの燃焼エンタルピー：－283kJ/mol

CO(気) $+ \frac{1}{2}O_2$(気) → $CO_2$ (気)　$\Delta H = -283$kJ

**・生成エンタルピー**

物質1 molが構成元素の単体から生成するときのエンタルピー変化。発熱も吸熱もある。

**例** NOの生成エンタルピー：90.3kJ/mol

$$\frac{1}{2}N_2(気) + \frac{1}{2}O_2(気) \rightarrow NO(気)\quad \Delta H = 90.3\text{kJ}$$

**・溶解エンタルピー**

物質1 molが多量の溶媒に溶解するときのエンタルピー変化。発熱も吸熱もある。

溶媒が水のときには「多量の水」を「aq」と表す。

**例** NaOH(固)の水に対する溶解エンタルピー：− 44.5kJ/mol

$$NaOH(固) + aq \rightarrow NaOHaq\quad \Delta H = -44.5\text{kJ}$$

**・中和エンタルピー**

酸と塩基が反応し，水1 molが生成するときのエンタルピー変化。

中和反応は発熱なので，$\Delta H$は必ず負の値となる。強酸と強塩基の中和エンタルピーは− 56.5 kJ/molである。

**例** 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和エンタルピー：− 56.5kJ/mol

$$HClaq + NaOHaq \rightarrow NaClaq + H_2O(液)\quad \Delta H = -56.5\text{kJ}$$

塩酸や水酸化ナトリウムは完全に電離しているため, 次のように表すこともできる。

$$H^+aq + OH^-aq \rightarrow H_2O(液)\quad \Delta H = -56.5\text{kJ}$$

**まとめ**

・燃焼エンタルピー：物質 1mol が（　　　　　　）するときのエンタルピー変化。

・生成エンタルピー：物質 1mol が構成元素の（　　　　）から生成するときのエンタルピー変化。

・溶解エンタルピー：物質 1 mol が(　　　　　　　)に溶解するときのエンタルピー変化。

・中和エンタルピー：酸と塩基が反応し（　　　）1 mol が生成するときのエンタルピー変化。

# Chapter4　状態変化のエンタルピー変化

要点

状態変化のエンタルピー変化

・$1.013 \times 10^5$Pa 下での状態変化によるエンタルピー変化で表す。

## ◆ 状態変化のエンタルピー変化 重要

状態変化のエンタルピー変化は $1.013 \times 10^5$Pa 下における値で表す。融解と蒸発，昇華で表すことがほとんどで，それらは全て吸熱反応すなわちエンタルピー変化は正の数となる。

例　0℃における $H_2O$(固)の融解エンタルピー：6.0kJ/mol

100℃における $H_2O$(液)の蒸発エンタルピー：41kJ/mol

まとめ

・融解や蒸発は（　　　　）反応であるため，それらのエンタルピー変化 $\Delta H$ は（　　　）の値となる。

# Chapter5　演習問題

**問**　次の変化をエンタルピー変化を付した反応式で表せ。

(1)　メタン $CH_4$ の燃焼エンタルピーはー 891kJ/mol である。(生じる水は液体である)

(2)　アンモニア $NH_3$ の生成エンタルピーはー 46kJ/mol である。

(3)　100℃における水 $H_2O$ の蒸発エンタルピーは 41kJ/mol である。

# 第5講 PART1 確認問題

問1 一定圧力で化学反応に伴って放出・吸収する熱量を反応エンタルピーといい，生成物と反応物がもつエンタルピーの差に相当するエンタルピー変化$\Delta H$で表す。$\Delta H$は，発熱反応では（ ア ）の値，吸熱反応では（ イ ）の値となる。

反応エンタルピーにはいくつか種類がある。例えば，物質1molが完全燃焼するときの反応エンタルピーは（ ウ ）エンタルピーといい，$\Delta H$は（ エ ）の値となる。また，酸と塩基が反応して（ オ ）1molが生成するときの反応エンタルピーは中和エンタルピーといい，$\Delta H$は（ カ ）の値となる。

(1) 文中の（ ア ），（ イ ）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ア：正　イ：正
② ア：正　イ：負
③ ア：負　イ：正
④ ア：負　イ：負

(2) 文中の（ ウ ），（ エ ）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ウ：生成　エ：正
② ウ：生成　エ：負
③ ウ：燃焼　エ：正
④ ウ：燃焼　エ：負

⑶　文中の（　オ　），（　カ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　オ：塩　　カ：正
②　オ：塩　　カ：負
③　オ：水　　カ：正
④　オ：水　　カ：負

⑷　エンタルピー変化を付した反応式のうち，$H_2O$ の融解を表しているものはどれか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，$H_2O$ の融解エンタルピーの大きさは 6.0kJ/mol とする。

①　$H_2O$（固）→ $H_2O$（液）　$\Delta H = -6.0\text{kJ}$
②　$H_2O$（固）→ $H_2O$（液）　$\Delta H = 6.0\text{kJ}$
③　$H_2O$（液）→ $H_2O$（固）　$\Delta H = -6.0\text{kJ}$
④　$H_2O$（液）→ $H_2O$（固）　$\Delta H = 6.0\text{kJ}$

⑸　エンタルピー変化を付した反応式のうち，窒素 $N_2$ と酸素 $O_2$ から一酸化窒素 NO が生成するときの変化を表しているものはどれか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，NO の生成エンタルピーは 90.3kJ/mol とする。

①　$\frac{1}{2}N_2$（気）$+\frac{1}{2}O_2$（気）→ NO（気）　$\Delta H = 45.2\text{kJ}$
②　$\frac{1}{2}N_2$（気）$+\frac{1}{2}O_2$（気）→ NO（気）　$\Delta H = 90.3\text{kJ}$
③　$N_2$（気）$+ O_2$（気）→ 2NO（気）　$\Delta H = 90.3\text{kJ}$
④　$N_2$（気）$+ O_2$（気）→ 2NO（気）　$\Delta H = 180.6\text{kJ}$

# PART2　反応エンタルピーを求める実験

目標　・反応エンタルピーを求める実験を理解し，計算できるようになろう！

## Chapter1　反応に伴う熱量

要点

反応に伴う熱量

・反応を伴って放出される熱量は次のように表すことができる。(発熱反応で考える)

熱量 ＝ 注目する物質 1 mol あたりの発熱量※ × 反応した物質量

※ 反応エンタルピーの「－（マイナス)」をとった数値

### ◆ 反応に伴う熱量　重要

反応が起こると，熱の出入りが起こる。この熱量は次のように表すことができる。(以下，発熱反応で考える)

反応により放出される熱量 ＝ 注目する物質 1 mol あたりの発熱量※ × 反応した物質量

※ 反応エンタルピーの「－（マイナス)」をとった数値

例題

メタン $CH_4$(分子量 16)の燃焼エンタルピーは－ 891kJ/mol である。メタン 16g が燃焼すると何 kJ の熱量が放出されるか。

---

考え方

燃焼エンタルピーが－ 891kJ/mol であることから，メタン 1 mol が燃焼すると 891kJ の熱量が放出されることがわかる。よって，メタン 16g の燃焼により放出される熱量は以下のように表すことができる。

$$891 \times \frac{16}{16} = \underline{\underline{891\text{kJ}}}$$

まとめ

・反応により放出される熱量は次のように表すことができる。

(　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　) × (　　　　　　　　　　　　)

# Chapter2　反応エンタルピーを求める

**要点**

反応エンタルピーを求める実験

・反応による温度上昇度を測定し，以下の式に代入する。（発熱反応で考える）

熱量（J）＝注目する物質1 molあたりの発熱量(kJ/mol)×反応した物質量(mol)×$10^3$

＝質量 $m$（g）×比熱 $c$（J/g・℃）×温度上昇度 $t$（℃）

## ◆ 反応エンタルピーの求め方　重要

反応エンタルピーは次のような流れで求めることができる。（以下，発熱反応で考える）

**例** 水酸化ナトリウム NaOH(式量 40)の溶解エンタルピーを求める。

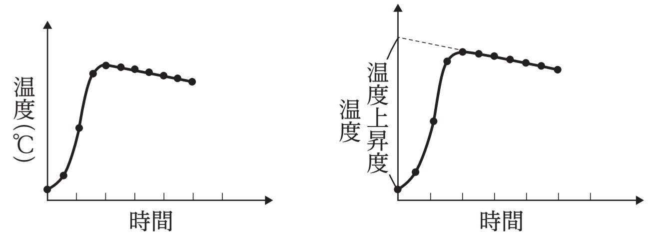
(1)　実験をおこない，反応によってどれだけ温度が上昇したか（温度上昇度）を測定する。

水酸化ナトリウム 2.0g を水 100mL(密度 1.0g/mL)に溶解させ，水溶液（比熱 4.2 J/g・℃）の温度がどれだけ上昇したかを測定する。

→　その結果，5.0℃上昇した。

※温度上昇度の読み取り方

水溶液の温度変化は次のようなグラフ(左)となる。温度上昇度は，グラフ（右）のように求める。




(2)　測定した温度上昇度を次の式に代入し，物質1molあたりの発熱量(kJ/mol)を求める。

熱量(J)＝注目する物質1 molあたりの発熱量(kJ/mol)×反応した物質量(mol)×$10^3$

＝質量 $m$(g)×比熱 $c$(J/g・℃)×温度上昇度 $t$(℃)

NaOH1mol あたりの発熱量を $x$(kJ/mol)，比熱が 4.2(J/g・℃)とすると次のような式になる。

ただし，水酸化ナトリウム水溶液の質量は全体で 2.0＋100＝102 g である。

熱量(J)＝$x \times 0.050 \times 10^3$　＝102×4.2×5.0

$x \fallingdotseq 42.8$ → 43 kJ/mol

(3) (2)により求めた数値に「－（マイナス）」をつけて溶解エンタルピーにする。
水酸化ナトリウムの溶解エンタルピーは，－43 kJ/mol である。

**まとめ**

・反応エンタルピーを求める式　〈(　　) 内は語句でも記号でも可〉

熱量（J）＝ 注目する物質 1 mol あたりの発熱量（kJ/mol）× 反応した物質量（mol）× $10^3$

＝ (　　　　　　　　) × (　　　　　　　　) × (　　　　　　　　)

## Chapter3　演習問題

**問**　塩化カリウム KCl 0.050mol を水 100mL に溶解させたところ，水溶液の温度が 2.0℃下がった。この結果を使って塩化カリウムの溶解エンタルピーを整数で求めなさい。

ただし，混合してできた塩化カリウム水溶液の質量は 104g，比熱は 4.2(J/g・℃)とする。

## < Note >

# 第 5 講　PART2　確認問題

問 1　水酸化ナトリウム $NaOH$（式量：40）の溶解エンタルピーを－ 45kJ/mol とすると，5.6g の水酸化ナトリウムを水に溶解させた際には,（　ア　）kJ の熱量が放出される。このとき，溶解させてできた水酸化ナトリウム水溶液の質量を 100g，比熱を 4.2(J/g・℃)とすると，水溶液の温度は（　イ　）℃上昇することになる。

一方，水酸化カリウム $KOH$（式量：56）5.6g を水に溶解させて 250g の水酸化カリウム水溶液（比熱 4.2(J/g・℃)）としたところ，水溶液の温度が 5.5℃上昇した。このことから，水酸化カリウムの溶解エンタルピーは（　ウ　）kJ/mol であることがわかる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1.4　　②　4.5
③　5.6　　④　6.3

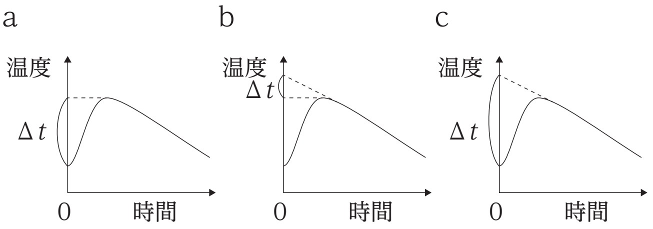
(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　5　　②　10
③　15　　④　20

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　－ 23　　②　－ 58
③　23　　④　58

⑷　温度上昇度Δ$t$の読み取り方として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。




①　a　　　②　b　　　③　c

# PART3　ヘスの法則を利用した計算

目標　・ヘスの法則を理解し，エンタルピー図が書けるようになろう！

## Chapter1　ヘスの法則

**要点**

ヘスの法則

・物質が変化するときの反応エンタルピーの総和は，変化前後の物質の種類と状態のみで決まり，変化の経路や方法には関係しない。

### ◆ ヘスの法則（総熱量保存の法則）　重要

実験により測定できない反応エンタルピーを求めるときに利用するのが，以下に記す**ヘスの法則（総熱量保存の法則）**である。

ヘスの法則

物質が変化するときの反応エンタルピーの総和は，変化前後の物質の種類と状態のみで決まり，変化の経路や方法には関係しない。

**例**　物質 A から物質 B が生成する反応の反応エンタルピー $\Delta H = Q$（kJ/mol）が知りたい。

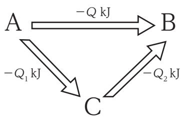
$$\mathrm{A} \rightarrow \mathrm{B} \quad \Delta H = Q \text{（kJ）}$$

この反応を実験室で起こすことができないときは，化合物 A から違う経路を辿って化合物 B に辿り着く方法を選択する。

例えば，物質 A から物質 C を作り，物質 C から物質 B を作る。それぞれの反応について，測定された反応エンタルピーが以下のようになるとする。

$$\mathrm{A} \rightarrow \mathrm{C} \quad \Delta H_1 = -Q_1 \text{（kJ）} \quad \cdots(1)$$

$$\mathrm{C} \rightarrow \mathrm{B} \quad \Delta H_2 = -Q_2 \text{（kJ）} \quad \cdots(2)$$




$Q = -(Q_1 + Q_2)$

ヘスの法則より，出発点が物質 A，到達点が物質 B であれば，反応エンタルピーの総和は変化しない。

よって，$Q = -(Q_1 + Q_2)$ kJ となる。

まとめ

・測定が困難な反応エンタルピーは（　　　　　　　　　　　　）の法則を利用して求める。

# Chapter2　ヘスの法則を利用した計算

要点

ヘスの法則を利用した計算

・化学反応式の和差を利用する。

・エンタルピー変化を表した図を利用する。

## ◆ ヘスの法則を利用した計算方法

ヘスの法則を利用して知りたい反応エンタルピーを求める方法には，以下の2つがある。

・化学反応式の和差を利用する。

全ての反応を化学反応式で表し，その和差によって目的の反応エンタルピーの反応式を導く方法。

例　以下の式を使って，物質Aから物質Bが生成するときの反応エンタルピーを求める。

$A \rightarrow C \quad \Delta H_1 = -Q_1$（kJ）…(1)

$C \rightarrow B \quad \Delta H_2 = -Q_2$（kJ）…(2)

→(1)，(2)式を使って，目的の式A → Bを作ることを考える。

(1)+(2)より

$A \rightarrow C \quad \Delta H_1 = -Q_1$（kJ）…(1)

＋）$C \rightarrow B \quad \Delta H_2 = -Q_2$（kJ）…(2)

$A \rightarrow B \quad \Delta H = -(Q_1 + Q_2)$ kJ

このように，目的の反応エンタルピーを求めることができる。

(全ての化学反応式を書く作業に時間を取られてしまうため，本講義ではこの方法は扱わない)

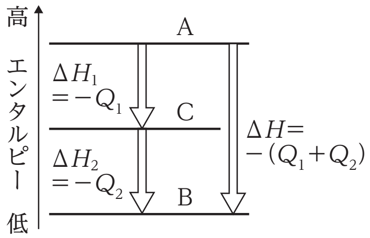
・エンタルピー変化を表した図を利用する。

エンタルピー変化を表した図(以下，講義ではエンタルピー図)を用いて目的の反応エンタルピーを求める方法である。

**例** 以下の式を使って，物質 A から物質 B が生成するときの反応エンタルピーを求めよ。

$A \rightarrow C \quad \Delta H_1 = -Q_1$ (kJ) …(1)

$C \rightarrow B \quad \Delta H_2 = -Q_2$ (kJ) …(2)




エンタルピー図を書くと右図のようになり，

目的の反応エンタルピーは $\Delta H = -(Q_1 + Q_2)$ kJ とわかる。

**まとめ**

ヘスの法則を利用した計算方法には次のようなものがある。

・化学反応式の（　　　　）を利用する。

・（　　　　　　　　）を表した図を利用する。

# Chapter3　エンタルピー変化を表した図

**要点**

エンタルピー変化を表した図を書くときのポイント

・反応エンタルピーの定義，エンタルピーレベルの順番を頭に入れておく。

・仲間はずれのエンタルピー変化から書き始める。

## ◆ エンタルピー変化を表した図を書くために必要なこと　重要

エンタルピー変化を表した図を書くには，以下の２点を押さえておく必要がある。

・反応エンタルピーの定義が頭に入っている。

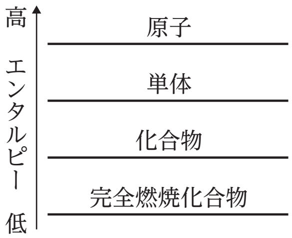
反応エンタルピーの定義が頭に入っていないと，どんな解法を選んだとしても問題を解くことはできない。しっかりと復習しておこう。

**例** 生成エンタルピー：物質 1 mol が構成元素の単体から生成するときのエンタルピー変化。

すなわち，単体→化合物のエンタルピー変化。

・エンタルピーレベルの順番が頭に入っている。

　右図に示すエンタルピーレベルを頭に入れよう。この上下関係は，基本的に逆転することはない。しっかりと押さえておこう。




## ◆ エンタルピー変化を表した図の書き方　重要

　次の 例 を使って，エンタルピー図の書き方を確認しよう。

**例**　次の燃焼エンタルピーを用いて，メタンの生成エンタルピー（$\Delta H = x$）を求める。ただし，生成する水は液体であるとする。

C（黒鉛）　$\Delta H = -394$（kJ/mol）

$H_2$　$\Delta H = -286$（kJ/mol）

$CH_4$　$\Delta H = -891$（kJ/mol）

(1)　仲間はずれのエンタルピーレベルから書く。

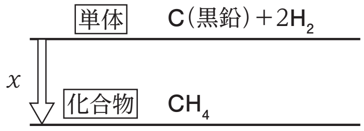
　問題文に出てくる反応エンタルピーには，必ず「仲間はずれ」がある。その仲間はずれのエンタルピーレベルから書き始める。

**例**　問題に出てくる反応エンタルピーを確認してみよう。

・燃焼エンタルピー３つ（黒鉛・$H_2$・$CH_4$）

・生成エンタルピー１つ（$CH_4$）

以上より，仲間はずれは「$CH_4$ の生成エンタルピー」となる。



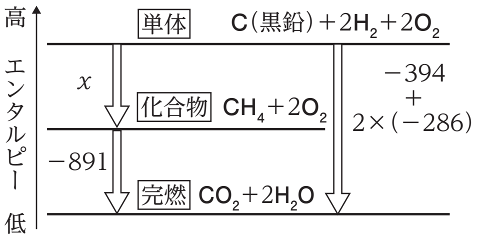

　生成エンタルピーの定義とエンタルピーレベルが「単体（上）→化合物（下)」であることを意識してエンタルピー図を書いてみよう。

(2)　残りの反応エンタルピーのエンタルピーレベルとデータを書き入れる。

　仲間はずれ以外の反応エンタルピーのエンタルピーレベルとデータを書き入れる。

**例**　残る反応エンタルピーは３つの燃焼エンタルピーである。

燃焼エンタルピーの定義とエンタルピーレベルが「単体 or 化合物（上）→完全燃焼化合物（下)」であることを意識してエンタルピー図を書いてみよう。



以上より，$CH_4$ の生成エンタルピーは次のように求めることができる。

$$x + (-891) = (-394) + 2 \times (-286) \qquad \underline{x = -75\ \text{kJ/mol}}$$

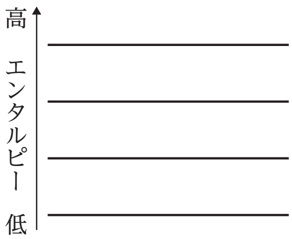
**まとめ**

・エンタルピー図は，（　　　　　　　　）の反応エンタルピーから書き始める。

## Chapter4　演習問題

**問**　「化合物」「単体」「原子」「完全燃焼化合物」の４つについて，エンタルピーレベルを高い順に右図に書き入れなさい。

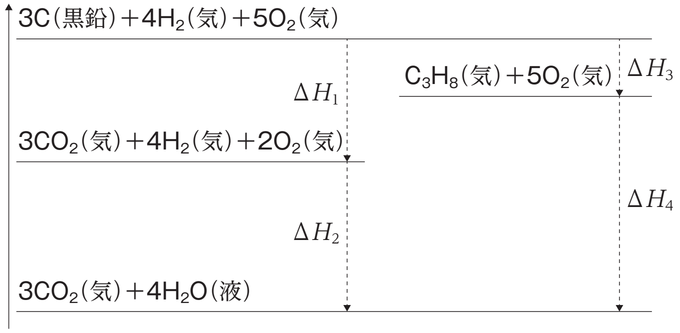
　また,「$NH_3$ の生成エンタルピー」はどこに相当するか,「↓」または「↑」で書き入れなさい。



< Note >

# 第５講　PART3　確認問題

問１　次の図は，炭素（黒鉛），水素，酸素から二酸化炭素と水が生成する反応のエンタルピー変化を表したものである。この図について，後の問いに答えよ。




(1)　プロパン $C_3H_8$ の生成エンタルピーを表しているものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$\Delta H_1$　　②　$\Delta H_2$

③　$\Delta H_3$　　④　$\Delta H_4$

(2)　炭素（黒鉛）の燃焼エンタルピーを表しているものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$\Delta H_1 \times \frac{1}{3}$　　②　$\Delta H_2 \times \frac{1}{3}$

③　$\Delta H_1$　　④　$\Delta H_2$

(3)　水素の燃焼エンタルピーを表しているものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$\Delta H_1 \times \frac{1}{4}$　　②　$\Delta H_2 \times \frac{1}{4}$

③　$\Delta H_1$　　④　$\Delta H_2$

⑷　プロパンの生成エンタルピーを－107kJ/mol, 炭素（黒鉛）の燃焼エンタルピーを－394kJ/mol，水素の燃焼エンタルピーを－286kJ/mol とする。このとき，プロパンの燃焼エンタルピーとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　－573kJ/mol　　②　－787kJ/mol

③　－2219kJ/mol　　④　－2433kJ/mol

# PART4　エンタルピー図・公式

目標　・エンタルピー図を使った計算にはどんなものがあるのか確認していこう！

## Chapter1　生成エンタルピー＋仲間はずれ

**要点**

生成エンタルピー＋仲間はずれ

・エンタルピー図から導かれる公式

仲間はずれの反応エンタルピー　＝（生成物の生成エンタルピーの和）

－（反応物の生成エンタルピーの和）

### ◆「生成エンタルピー＋仲間はずれ」のエンタルピー図　重要

エンタルピー図の書き方に従い，以下の 例題 のエンタルピー図を書いてみよう。

**例題**

次の生成エンタルピーを用いて，プロパン $C_3H_8$ の燃焼エンタルピーを求めよ。

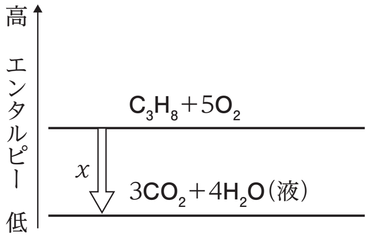
生成エンタルピー

$H_2O$（液）－ 286kJ/mol，$CO_2$ － 394kJ/mol，$C_3H_8$ － 107kJ/mol

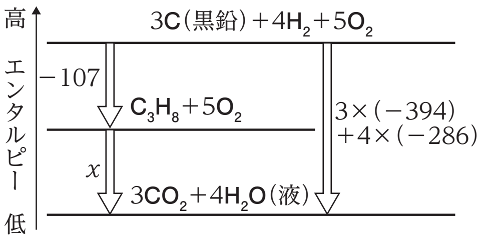
---

**考え方**

⑴仲間はずれは $C_3H_8$ の燃焼エンタルピーなので，これを $x$ kJ/mol としてエンタルピー図を書き始める。定義とエンタルピーレベルは「化合物（上）→完全燃焼化合物（下）」である。



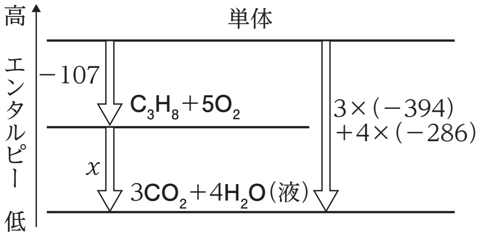

⑵残りのエンタルピーは生成エンタルピーで，定義とエンタルピーレベルは「単体（上）→化合物（下）」である。



以上より，$C_3H_8$ の燃焼エンタルピーは次のように求めることができる。

$(-107) + x = 3 \times (-394) + 4 \times (-286)$　　　$x = -2219$kJ/mol

※エンタルピー図を書くことに慣れてきたら，仲間はずれ以外については「単体」などと略記で書いてもよい。




### ◆「生成エンタルピー＋仲間はずれ」の公式

先ほど書いたエンタルピー図から導かれる式を確認すると，「仲間はずれの反応エンタルピー」は次のように表すことができる。

**仲間はずれの反応エンタルピー　＝（生成物の生成エンタルピーの和）**
**−（反応物の生成エンタルピーの和）**

**例**　$x = \{3 \times (-394) + 4 \times (-286)\} - (-107)$

以上より，「仲間はずれの反応エンタルピーのみ」を反応式で書き，上述の公式を利用するという方法でも解くことができる。

※公式をいくつも暗記するよりは，エンタルピー図の書き方ひとつを克服する方をお勧めする。

**まとめ**

・生成エンタルピー＋仲間はずれ
　仲間はずれの反応エンタルピー　＝（(　　　　　）の生成エンタルピーの和）
　　　　　　　　　　　　　　　　−（(　　　　　）の生成エンタルピーの和）

## Chapter2　燃焼エンタルピー＋仲間はずれ

**要点**

燃焼エンタルピー＋仲間はずれ

・エンタルピー図から導かれる公式
　仲間はずれの反応エンタルピー　＝（反応物の燃焼エンタルピーの和）
　　　　　　　　　　　　　　　　−（生成物の燃焼エンタルピーの和）

## ◆「燃焼エンタルピー＋仲間はずれ」のエンタルピー図 重要

エンタルピー図の書き方に従い，以下の 例題 のエンタルピー図を書いてみよう。

**例題**

次の反応エンタルピーを用いて，プロパン $C_3H_8$ の燃焼エンタルピーを整数値で求めよ。

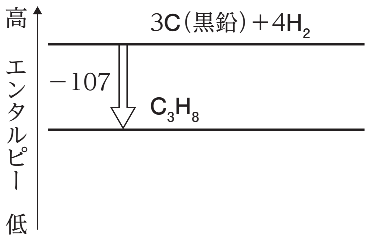
燃焼エンタルピー　：$H_2$ − 286kJ/mol，C（黒鉛）− 394kJ/mol

生成エンタルピー　：$C_3H_8$ − 107kJ/mol

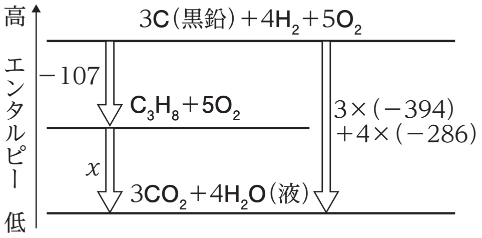
---

**考え方**

(1)仲間はずれは $C_3H_8$ の生成エンタルピーなので，
ここからエンタルピー図を書き始める。
定義とエンタルピーレベルは
「単体（上）→化合物（下)」である。



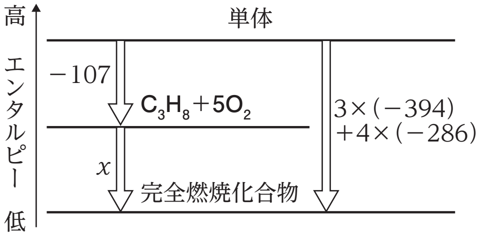

(2)残りのエンタルピーは燃焼エンタルピーである。
(求める $C_3H_8$ の燃焼エンタルピーを $x$ kJ/mol とする。)
定義とエンタルピーレベルは
「単体 or 化合物（上）→完全燃焼化合物（下)」である。




以上より，$C_3H_8$ の燃焼エンタルピーは次のように求めることができる。

$(-107) + x = 3\times(-394) + 4\times(-286)$　　$x = -2219$kJ/mol

※エンタルピー図を書くことに慣れてきたら，仲間はずれ以外については「単体」などと略記で書いてもよい。




※この問題は「生成エンタルピー＋仲間はずれ」で扱った例題と全く同じだと気付いただろうか。

完全燃焼化合物の生成エンタルピーは単体の燃焼エンタルピーと捉えることもできる

ことを意識しておこう。

**例** $H_2O$(液)の生成エンタルピー ＝ $H_2$ の燃焼エンタルピー

### ◆「燃焼エンタルピー＋仲間はずれ」の公式

先ほど書いたエンタルピー図から導かれる式を確認すると，「仲間はずれの反応エンタルピー」は次のように表すことができる。

**仲間はずれの反応エンタルピー　＝（反応物の燃焼エンタルピーの和）**
**－（生成物の燃焼エンタルピーの和）**

**例** $-107 = \{3\times(-394)+4\times(-286)\} - x$

以上より，「仲間はずれの反応エンタルピーのみ」を反応式で書き，上述の公式を利用するという方法でも解くことができる。

※公式をいくつも暗記するよりは，エンタルピー図の書き方ひとつを克服する方をお勧めする。

**まとめ**

・燃焼エンタルピー＋仲間はずれ
　仲間はずれの反応エンタルピー　＝（(　　　　　）の燃焼エンタルピーの和）
　－（(　　　　　）の燃焼エンタルピーの和）

## Chapter3　結合エネルギー＋仲間はずれ

**要点**

結合エネルギー＋仲間はずれ
・エンタルピー図から導かれる公式
　仲間はずれの反応エンタルピー　＝（反応物の結合エネルギーの和）
　－（生成物の結合エネルギーの和）

### ◆ 結合エネルギー　重要

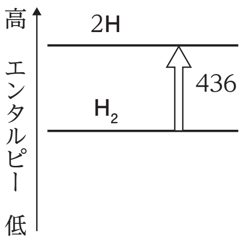
結合エネルギーとは「**気体の原子間結合 1mol を切断し，原子にするために必要なエネルギー**」である。

「必要な」エネルギーであるため，吸熱反応すなわちエンタルピー変化は正の数になる。

**例**　$H_2$ の結合エネルギーは 436kJ/mol。

→ 反応式にすると次のようになる。

$H_2$(気) → 2H(気)　$\Delta H = 436$kJ




## ◆「結合エネルギー＋仲間はずれ」のエンタルピー図　重要

エンタルピー図の書き方に従い，以下の 例題 のエンタルピー図を書いてみよう。

**例題**

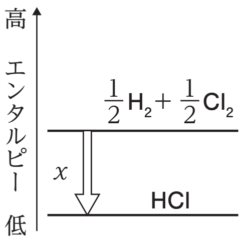
次の結合エネルギーを用いて，HCl の生成エンタルピーを求めよ。

結合エネルギー：$H_2$ 436kJ/mol，$Cl_2$ 243kJ/mol，HCl 432kJ/mol

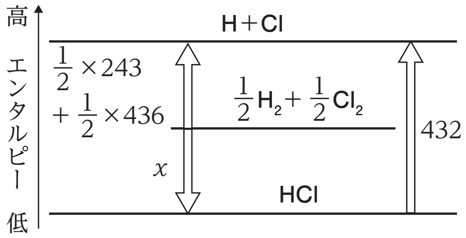
---

**考え方**

(1)仲間はずれは HCl の生成エンタルピーなので，これを $x$ kJ/mol としてエンタルピー図を書き始める。定義とエンタルピーレベルは「単体（上）→化合物（下)」である。



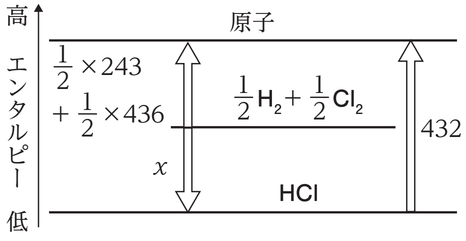

(2)残りのエンタルピーは結合エネルギーで，定義とエンタルピーレベルは「原子（上）→単体 or 化合物（下)」である。




以上より，HCl の生成エンタルピーは次のように求めることができる。

$$\frac{1}{2} \times 243 + \frac{1}{2} \times 436 - x = 432 \qquad \underline{x = -92.5\text{kJ/mol}}$$

※エンタルピー図を書くことに慣れてきたら，仲間はずれ以外については「原子」などと略記で書いてもよい。



### ◆「結合エネルギー＋仲間はずれ」の公式

先ほど書いたエンタルピー図から導かれる式を確認すると，「仲間はずれの反応エンタルピー」は次のように表すことができる。

**仲間はずれの反応エンタルピー　＝（反応物の結合エネルギーの和）**
**－（生成物の結合エネルギーの和）**

**例**　$x = \left\{\frac{1}{2} \times 243 + \frac{1}{2} \times 436\right\} - 432$

以上より，「仲間はずれの反応エンタルピーのみ」を反応式で書き，上述の公式を利用するという方法でも解くことができる。

※公式をいくつも暗記するよりは，エンタルピー図の書き方ひとつを克服する方をお勧めする。

**まとめ**

・結合エネルギー＋仲間はずれ
仲間はずれの反応エンタルピー　＝（(　　　　　) の結合エネルギーの和)
－（(　　　　　) の結合エネルギーの和)

## Chapter4　演習問題

**問**　次の結合エネルギーを用いて，アンモニアの生成エンタルピーを求めよ。
結合エネルギー：N ≡ N 946kJ/mol，H − H 436kJ/mol，N − H 391kJ/mol

# 第５講　PART4　確認問題

問１　次の問いに答えよ。

(1)　二酸化炭素の生成エンタルピーが－394kJ/mol のとき，炭素（黒鉛）の燃焼エンタルピーは何 kJ/mol になるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　－197kJ/mol　　②　－394kJ/mol

③　－591kJ/mol　　④　－788kJ/mol

(2)　次の生成エンタルピーを用いると，エタン $C_2H_6$ の燃焼エンタルピーは何 kJ/mol になるか。最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。

生成エンタルピー　$H_2O$：　－286kJ/mol

$CO_2$：　－394kJ/mol

$C_2H_6$：　－85kJ/mol

①　－595kJ/mol　　②　－1078kJ/mol

③　－1561kJ/mol　　④　－1731kJ/mol

(3)　次の結合エネルギー，生成エンタルピーを用いると，H－Cl の結合エネルギーは何 kJ/mol になるか。最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。

結合エネルギー　H－H　：436kJ/mol

Cl－Cl　：243kJ/mol

生成エンタルピー　HCl　：－92.5kJ/mol

①　189kJ/mol　　②　247kJ/mol

③　324kJ/mol　　④　432kJ/mol

< Note >

# PART5　熱化学の計算練習

目標　・エンタルピー図を使った計算の練習をしよう！

## Chapter1　問題１

次の生成エンタルピーを用いて，アセチレン $C_2H_2$ の燃焼エンタルピーを求めよ。

生成エンタルピー

$H_2O$(液) − 286kJ/mol，$CO_2$ − 394kJ/mol，$C_2H_2$ 227kJ/mol

---

ポイント：生成エンタルピーが正の値であっても，エンタルピー図を書くときに，エンタルピーレベルの上下関係は逆転させない！！

## Chapter2　問題２

次の反応エンタルピーを用いて，メタン $CH_4$ の燃焼エンタルピーを求めよ。

燃焼エンタルピー　：$H_2$ − 286kJ/mol，C(黒鉛) − 394kJ/mol

生成エンタルピー　：$CH_4$ − 75kJ/mol

---

ポイント：エンタルピー図を書くときは「求めるもの」ではなく「仲間はずれ」から書く！！

## Chapter3　問題３

次の結合エネルギーや反応エンタルピーを用いて，メタンの $CH_4$ の生成エンタルピーを求めよ。

結合エネルギー：H − H 436kJ/mol，C − H 416kJ/mol

昇華エンタルピー：C(黒鉛) 718kJ/mol

---

ポイント：昇華エンタルピーは結合エネルギーの仲間と考える！（仲間はずれではない）

## Chapter4　問題４

次の燃焼エンタルピーを用いて，黒鉛からダイヤモンドが生成するときの反応エンタルピーを求めなさい。

燃焼エンタルピー：C(黒鉛) − 394kJ/mol，C(ダイヤモンド) − 396kJ/mol

---

ポイント：同じエンタルピーレベル（例：反応物も生成物も単体）は，左辺を上，右辺を下にしてエンタルピー図を書こう！

# 第5講　PART5　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　次の生成エンタルピーを用いると，エチレン $C_2H_4$ の燃焼エンタルピーは何 kJ/mol になるか。最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。

生成エンタルピー　$H_2O$ ：－ 286kJ/mol
　　　　　　　　　$CO_2$ ：－ 394kJ/mol
　　　　　　　　　$C_2H_4$ ：52kJ/mol

①　－ 732　　②　－ 1018
③　－ 1126　　④　－ 1412

(2)　次の反応エンタルピーを用いると，アセチレン $C_2H_2$ の生成エンタルピーは何 kJ/mol になるか。最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。

燃焼エンタルピー　$C_2H_2$ ：－ 1301kJ/mol
生成エンタルピー　$H_2O$ ：－ 286kJ/mol
　　　　　　　　　$CO_2$ ：－ 394kJ/mol

①　－ 227　　②　－ 621
③　227　　④　621

(3)　次の結合エネルギーや反応エンタルピーを用いると，C－H の結合エネルギーは何 kJ/mol になるか。最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。

結合エネルギー　H－H　：436kJ/mol
生成エンタルピー　$CH_4$　：－ 75kJ/mol
昇華エンタルピー　C(黒鉛)　：718kJ/mol

①　270　　②　307
③　379　　④　416

< Note >

# PART6　化学反応が進む向き・化学反応と光

目標　・化学反応が進む方向，化学反応と光の関係について押さえよう！

## Chapter1　化学反応が自発的に進む方向

要点

化学反応が自発的に進む方向

・エンタルピーが減少する方向（発熱方向）

・エントロピーが増加する方向（乱雑さが増加する方向）

### ◆ 化学反応が自発的に進む方向

化学反応が自発的に進むのはどんな方向なのか，考えてみよう。

例えば，部屋に温度の高い煙を入れて放置すると，次第に煙の温度は下がる。また，煙は部屋中に広がっていく。

すなわち，熱は逃げる方向（発熱方向），煙の粒子は散らばっていく（バラバラになっていくことを乱雑さが増加するという）方向に進む。

化学反応が自発的に進む方向もこれと同じである。

【化学反応が自発的に進む方向】

①　発熱方向

発熱方向とはエンタルピーが減少する方向である。

②　乱雑さが増加する方向

乱雑さはエントロピーという量で定義される。「乱雑さが増加する方向」は「エントロピーが増加する方向」といえる。（バラバラになっていく方向と考えればよし）

一般的に，①と②の兼ね合いにより，化学反応が自発的に進むかどうかが決まる。

例　$HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$　（①も②も右向き。すなわち不可逆反応）

$CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COO^- + H^+$（①は左向き，②は右向き。すなわち可逆反応）

まとめ

・反応が自発的に進む方向

発熱方向，すなわちエンタルピーが（　　　　）する方向。

乱雑さが増加する方向，すなわちエントロピーが（　　　　）する方向。

# Chapter2　光とエネルギー（化学発光）

要点

化学発光

・反応により光が放出されること。

## ◆ 光とエネルギー

化学反応では，熱の出入り以外に光の放出や吸収を伴うことがある。

光は波長が短いものほどエネルギーが高い。

## ◆ 化学発光

反応により光が放出されることを**化学発光**という。化学発光する物質には以下のようなものがある。

・ルミノール

塩基性溶液中で過酸化水素やオゾンなどにより酸化されると明るく青い光を発する。

これをルミノール反応とよび，血液中の成分により反応が促進されるため，血痕の検出に用いられている。

・シュウ酸ジフェニル

過酸化水素で酸化されると，放出されるエネルギーを蛍光物質に与える。

用いる蛍光物質の種類により光の色が変わる。

まとめ

・反応により光が放出されることを（　　　　　　）といい，化学発光する物質の中には，血痕の検出に利用される（　　　　　　）などがある。

# Chapter3　光化学反応

要点

光化学反応

・光を当てると起こる（または促進される）化学反応。

## ◆ 光化学反応

可視光線や紫外線などの光を当てると起こる（または促進される）化学反応を**光化学**反応（こう(またはひかり)）という。以下のような反応がある。

・水素と塩素の反応

水素と塩素の混合気体に強い光を当てると，爆発的に反応が進み塩化水素が生成する。

$H_2 + Cl_2 \rightarrow 2HCl$

・有機化合物の反応

有機化合物の反応には，光が当たると起こるものが多くある。

・光触媒

光が当たると触媒の働きを示すものを**光触媒**という。

酸化チタン(Ⅳ) $TiO_2$ がその例である。

・光合成

植物が光を吸収し，二酸化炭素と水から糖類を合成する反応。

$6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$

まとめ

・光を当てると進行する化学反応を（　　　　　　　）という。植物の（　　　　　）もその一つである。

# Chapter4　演習問題

**問**　光触媒として使用されている物質を次の中から一つ選べ。

①　$H_2O$　②　$TiO_2$　③　$Fe_2O_3$　④　$SO_2$　⑤　$NO_2$

# 第５講　PART6　確認問題

問１　化学反応が自発的に進むのは，エンタルピーが（　ア　）する方向，エントロピーが（　イ　）する方向である。

化学反応では，熱の出入り以外に光の放出や吸収を伴うことがあり，光は波長が（　ウ　）ものほどエネルギーが高い。また，反応により光が放出されることを化学発光といい，化学発光する物質には，（　エ　）溶液中で過酸化水素やオゾンなどにより酸化されると明るく青い光を発する（　オ　）などがある。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：減少　　イ：減少
②　ア：減少　　イ：増加
③　ア：増加　　イ：減少
④　ア：増加　　イ：増加

(2)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　短い　　②　長い

(3)　文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　酸性　　②　中性　　③　塩基性

(4)　文中の（　オ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ルミノール　　②　エタノール
③　シュウ酸　　④　シュウ酸ジフェニル

## < Note >

第６講　化学反応と電気エネルギー

# PART1　ダニエル電池・ファラデーの法則

目標　・電池と電気量計算の基本をしっかりと押さえよう！

## Chapter1　電池

要点

電池

・酸化還元反応による化学エネルギーを電気エネルギーに変えて取り出す装置。

### ◆ 電池とは　重要

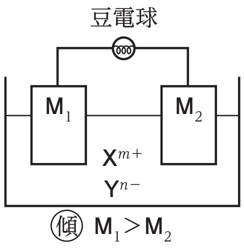
金属の性質を利用し，酸化還元反応による化学エネルギーを電気エネルギーに変えて取り出す装置。

通常の酸化還元反応では，酸化剤と還元剤が衝突し，還元剤から酸化剤に電子が移動するため，電流は流れない。

もし，酸化剤と還元剤を離れた場所で反応させることができれば，その距離を電子が移動するため，電流を取り出すことができる。これが電池である。

### ◆ 電池の基本　重要

異なる２種類の金属を導線で繋ぎ，電解質水溶液に浸すと電池ができる。




・負極・正極

負極：電子を放出する極。（正極と比べてイオン化傾向が大きい金属。上図では $M_1$）

正極：電子を受け取る極。（負極と比べてイオン化傾向が小さい金属。上図では $M_2$）

・起電力

負極と正極の間に生じる電圧。（電流の流れやすさと考えよう）

２つの金属のイオン化傾向の差に相当する。すなわち，イオン化傾向の差が大きい組み合わせを使うと起電力も大きくなる。

・**各極の反応**

負極：酸化反応が進行する。

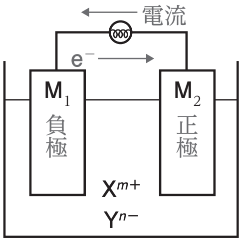
（$M_1 \rightarrow M_1{}^{a+} + ae^-$）

正極：還元反応が進行する。

（$X^{m+} + me^- \rightarrow X$）

活物質：反応に関与する物質。

（$M_1$・$X^{m+}$）




**まとめ**

・電池において，電子を放出する極，すなわち（　　　　）反応が進行する極を（　　　）極という。また，電子を受け取る極，すなわち（　　　　）反応が進行する極を（　　　）極という。

# Chapter2　ダニエル電池

**要点**

ダニエル電池

・（－）Zn|$ZnSO_4$aq | $CuSO_4$aq|Cu（＋）

（－）$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

（＋）$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

## ◆ ダニエル電池　（－）Zn | $ZnSO_4$aq | $CuSO_4$aq | Cu（＋）　重要

負極：亜鉛 Zn

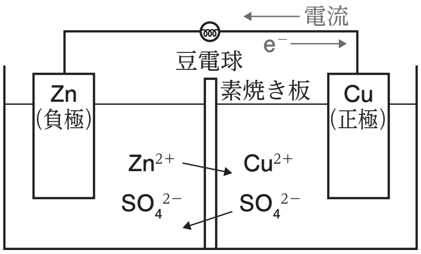
電解液は硫酸亜鉛 $ZnSO_4$ 水溶液

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

正極：銅 Cu

電解液は硫酸銅（Ⅱ）$CuSO_4$ 水溶液

$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

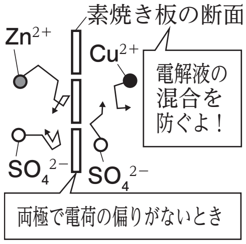


### ◆ 素焼き板　重要

両極の水溶液を素焼き板で仕切っている。その役割は以下の２つである。

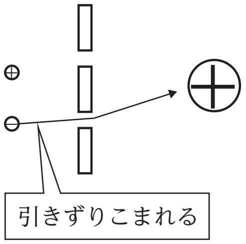
(1)　各極の電解液が混合してしまうのを防ぐ。

素焼き板には小さな穴が無数にあるが，基本的に電解液が混合することはない。

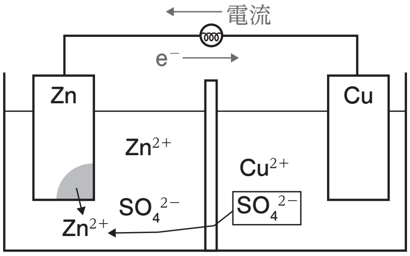


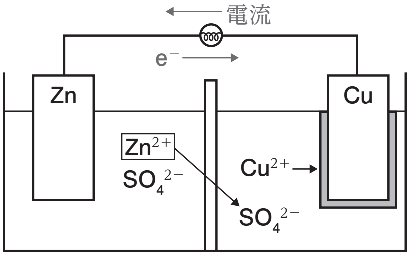

(2)　両電解液を電気的に中性の状態に保つ。

素焼き板の穴を必要なイオンが通過し，溶液を電気的中性に保っている。




**硫酸イオン $SO_4^{2-}$**：正極側から負極側へ　　**亜鉛イオン $Zn^{2+}$**：負極側から正極側へ




**まとめ**

・ダニエル電池は負極に（　　　　），正極に（　　　）を用いた電池で，各極の電解液を（　　　　　）で仕切っている。

# Chapter3　ダニエル電池の問題点

**要点**

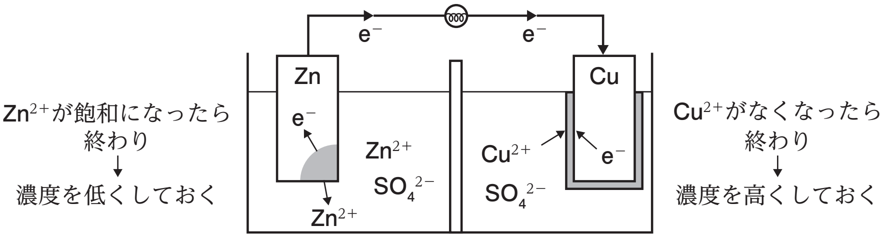
ダニエル電池の問題点

・負極：$Zn^{2+}$ の濃度が飽和に達すると反応停止。($ZnSO_4$aq の濃度を小さくしておく)

正極：$Cu^{2+}$ が無くなると反応停止。($CuSO_4$aq の濃度を大きくしておく)

## ◆ ダニエル電池の問題点　重要

ダニエル電池は，電流を取り出すことができる時間が短い。なぜ，電流が取り出せなくなるのか考えてみよう。




負極　$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e^-$

$Zn^{2+}$ が増加し続け，飽和に達すると Zn の溶解が停止する。すなわち電流が流れなくなる。

→ $ZnSO_4aq$ の濃度を小さくしておくとよい。

正極　$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

$Cu^{2+}$ が減少していき，無くなると Cu の析出が停止する。すなわち電流が流れなくなる。

→ $CuSO_4aq$ の濃度を大きくしておくとよい。

以上より，負極(濃度小)と正極（濃度大）の濃度差を大きくすると電池が長持ちする。また，濃度差が大きいと反応が進行しやすくなるため，起電力も大きくなる。

**まとめ**

・ダニエル電池を長持ちさせるには，負極側の電解液の濃度を（　　　　　），正極側の電解液の濃度を（　　　　　）しておくとよい。

# Chapter4　ファラデーの法則

**要点**

ファラデーの法則

・電極で変化する物質の物質量は，流れた電気量に比例する。

## ◆ファラデーの法則　重要

電極で変化する物質の物質量は流れた電気量に比例する。

## ◆電気量の計算　重要

電気量はC（クーロン）という単位で表す。1 A（アンペア）の電流が1秒間に運ぶ電気量が1 Cである。

また，電子1 molあたりの電気量の絶対値を**ファラデー定数** $F$(C/mol)という。

通常は $9.65 \times 10^4$ C/molである。(問題文中に与えられる)

電気化学の計算では，電気量の計算が必要となる。流れた電子の物質量を計算できるようになっておこう。

$$\textbf{流れた電子の物質量(mol)} = \frac{\textbf{電流(A)} \times \textbf{時間(秒)}}{\textbf{96500 (C/mol)}}$$

**例題**

ある電池で1.0Aの電流を3860秒間取り出した。このとき流れた電子の物質量は何molか。

ただし，ファラデー定数は96500 C/molとする。

---

**考え方**

$$\text{流れた電子の物質量(mol)} = \frac{1.0 \times 3860}{96500\ \text{(C/mol)}} = \underline{4.0 \times 10^{-2}\ \text{(mol)}}$$

**まとめ**

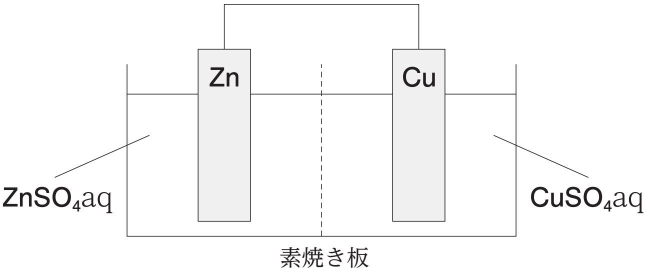
・流れた電子の物質量（mol）＝ $\dfrac{(\qquad\qquad)\times(\qquad\qquad)}{(\qquad\qquad\qquad)}$

# Chapter5　演習問題

**問**　ある電池で 3.0A の電流で 32 分 10 秒間放電した。流れた電子の物質量は何 mol か。計算しなさい。ただし，ファラデー定数は $9.65 \times 10^4$ C/mol とする。

# 第 6 講　PART1　確認問題

問 1　酸化還元反応による化学エネルギーを電気エネルギーに変えて取り出す装置を電池といい，負極は電子を（　ア　）極であり，（　イ　）反応が進行する。電池の例として次のようなダニエル電池があげられる。




ダニエル電池では両極の電解液が素焼き板で仕切られており，素焼き板は各極の電解液が混合するのを防いだり，(a)両電解液を電気的中性に保ったりする役割を果たしている。ただ，(b)ダニエル電池には電流を取り出せる時間が短いという問題点がある。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：放出する　　イ：酸化
②　ア：放出する　　イ：還元
③　ア：受け取る　　イ：酸化
④　ア：受け取る　　イ：還元

(2)　文中の下線部(a)について，正極側から負極側へ通過するイオンとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　亜鉛イオン　　②　銅(Ⅱ)イオン
③　硫酸イオン

⑶　文中の下線部(b)について，ダニエル電池を長持ちさせるためには正極側の硫酸銅(Ⅱ)水溶液の濃度をどのようにしておくとよいか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　大きくしておく　　②　小さくしておく

⑷　ある電池で1.5Aの電流を1時間36分30秒間放電した場合，流れた電子の物質量は何molか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，ファラデー定数は$9.65 \times 10^4$ C/molとする。

①　$1.0 \times 10^{-3}$ mol　　②　$1.5 \times 10^{-3}$ mol

③　$6.0 \times 10^{-2}$ mol　　④　$9.0 \times 10^{-2}$ mol

# PART2　鉛蓄電池・燃料電池

目標　・代表的な実用電池に触れてみよう！

## Chapter1　鉛蓄電池

要点

鉛蓄電池

・（－）$Pb|H_2SO_4aq|PbO_2$（＋）

（－）$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$

（＋）$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

### ◆ 鉛蓄電池　（－）$Pb|H_2SO_4aq|PbO_2$（＋）起電力2.0V　重要

電解液：希硫酸 $H_2SO_4aq$

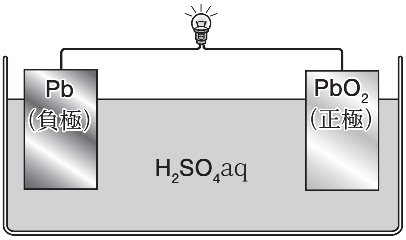
負極　：鉛 Pb

$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$

正極　：酸化鉛（Ⅳ）$PbO_2$

$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^-$

$\rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$



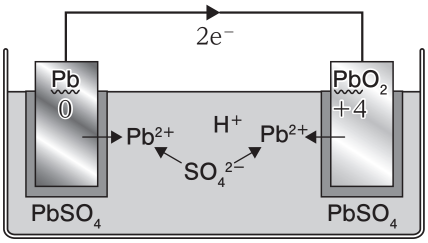

両極の式をまとめると次のようになる。

$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

負極の Pb（酸化数０）から正極の $PbO_2$（酸化数＋４）に電子（$2e^-$）が移動し，どちらも $Pb^{2+}$（酸化数＋２）に変化する。

### ◆ 電解液に希硫酸を用いる理由　重要

電解液として希硫酸を用いることで，生成した $Pb^{2+}$ は $H_2SO_4aq$ 中の $SO_4^{2-}$ と沈殿を作り，$PbSO_4$ として電極に貼り付く。




電解液に $H_2SO_4aq$ を用いることで $Pb^{2+}$ を

$PbSO_4$ として電極に残し，逆反応すなわち充電を可能にしている。

このように充電可能な電池を**二次電池**または**蓄電池**という。(充電できない電池は**一次電池**という)

まとめ

・鉛蓄電池は負極に（　　　　　），正極に（　　　　　　　　　），電解液に（　　　　　　　　　　）を用いた電池である。

鉛蓄電池のように充電可能な電池を（　　　　　　　　　）という。

# Chapter2　鉛蓄電池の計算

要点

鉛蓄電池の計算

1 mol の Pb と 1 mol の $PbO_2$ が反応し, 2mol の $e^-$ が流れることがポイントとなる。

## ◆ 鉛蓄電池の計算　重要

各極の式，まとめた式を再度確認してみよう。

負極　$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$

正極　$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

全体　$Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow 2PbSO_4 + 2H_2O$

これらの式から，次の量的関係がわかる。

負極：Pb 1mol が反応し，$PbSO_4$ 1mol に変化する。そのとき $e^-$ 2mol が流れる。

正極：$PbO_2$ 1mol が反応し，$PbSO_4$ 1mol に変化する。そのとき $e^-$ 2mol が流れる。

例題

放電で電子が 2.0mol 流れたとき，負極は何 g 増加するか。ただし，原子量は O 16，S 32，Pb 207 とする。

---

考え方

電子 2.0mol が流れると，負極では Pb 1.0mol が $PbSO_4$ 1.0mol に変化する。すなわち $SO_4$（式量 96）1.0mol 分だけ重くなる。よって 96g 増加する。

**まとめ**

・鉛蓄電池において，負極の Pb 1 mol が反応して $PbSO_4$ 1 mol に変化するときに電子が（　　　）mol 流れる。

# Chapter3　燃料電池

**要点**

燃料電池

（−）$H_2|H_3PO_4aq|O_2$（+）

（−）$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

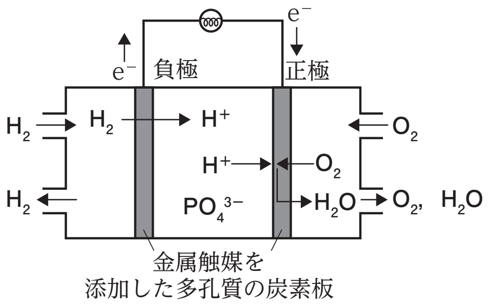
（+）$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

## ◆ 燃料電池　（−）$H_2|H_3PO_4aq|O_2$（+）　重要

物質が燃えるときに放出される熱を電気エネルギーに変えて取り出す装置が燃料電池である。

ここでは，水素 $H_2$ が燃えて水が生成するときの熱を利用する燃料電池で，電解液にリン酸 $H_3PO_4aq$ を用いるものを確認してみよう。

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O \qquad \Delta H = -286\text{kJ/mol}$$




リン酸型

上記の反応式は，水の電気分解の化学反応式の逆向きとなる。（電池と電気分解は逆の変化）

電気分解の各極の式の作り方は「電気分解の基本」で学ぶため，それを学んだ後に水の電気分解の式を作れば，その逆反応（→を逆に向ける）が燃料電池の式となる。よって，暗記する必要はない。

ここでは確認だけしておこう。

負極　$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

正極　$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

負極で生じる $H^+$ が電解液中を移動し，正極の反応に利用される。

**まとめ**

・燃料電池の化学反応式は（　　　　）の電気分解の化学反応式の逆向きとなる。
　負極から正極に（　　　　　　　　　）が移動する。

# Chapter4　燃料電池の計算

**要点**

燃料電池の計算

流れた電子の $\frac{1}{2}$ 倍の物質量の $H_2$ が負極で反応し，流れた電子の $\frac{1}{4}$ 倍の物質量の $O_2$ が正極で反応する。

## ◆ 燃料電池の計算

各極の式を再度確認してみよう。

負極　$H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$

正極　$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

上記の式より，次のことがわかる。

負極：流れた電子の $\frac{1}{2}$ 倍の物質量の $H_2$ が反応。

正極：流れた電子の $\frac{1}{4}$ 倍の物質量の $O_2$ が反応。

これらを計算式にして，知りたいものを求めていこう。

**例題**

リン酸水溶液を用いた水素燃料電池を放電すると電子が 2.00mol 流れた。このとき負極で反応した水素は標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）で何 L か。

---

**考え方**

負極では流れた電子の $\frac{1}{2}$ 倍の物質量の水素が反応するため，1 mol の水素が

反応する。よって，標準状態では 22.4L である。

まとめ

・リン酸水溶液を用いた水素燃料電池において，負極では流れた電子の物質量の（　　　）倍の水素が反応し，正極では流れた電子の物質量の（　　　）倍の酸素が反応する。

## Chapter5　リチウムイオン電池

要点

リチウムイオン電池

起電力が大きく（約 4.0V），スマホやノートパソコンなどに幅広く利用されている。

### ◆ リチウムイオン電池

起電力が大きく（約 4.0V）長寿命であることから，スマホやノートパソコン，デジタルカメラなどに利用され，現在，私たちの生活に欠かすことのできない存在である実用電池。

負極と正極の間をリチウムイオン $Li^+$ が移動して充放電が起こる。

負極活物質：リチウムと黒鉛の化合物（$C_6Li_x$）

正極活物質：コバルト酸リチウム（$Li_{(1-x)}CoO_2$）

電解質　　：リチウム塩を含んだ有機溶媒

まとめ

・リチウムイオン電池は（　　　　　）が大きく，さまざまなものに利用されている。負極と正極の間を（　　　　　　　　）が移動することで充放電が起こる。

# Chapter6　演習問題

**問**　鉛蓄電池を外部電源に接続し，充電をおこなった。充電により流れた電子が 0.10mol のとき，正極は何 g 減少するか。

ただし，原子量は O 16，S 32，Pb 207 とする。

# 第 6 講　PART2　確認問題

問 1　負極に鉛，(a)正極に酸化鉛（Ⅳ），電解液に希硫酸を用いた電池を(b)鉛蓄電池という。鉛蓄電池は充電が可能であり，このような電池を（　ア　）という。

一方，水素などの燃料が持つ化学エネルギーを電気エネルギーに変えて取り出す装置を燃料電池という。リン酸水溶液を電解液に用いた水素燃料電池においては，負極で（　イ　）が生じ，正極の反応に利用される。

(1)　文中の下線部(a)について，鉛蓄電池の正極で起こる反応として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

a. $PbO_2 + SO_4^{2-} + 2H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2OH^-$

b. $PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

c. $PbO_2 + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + O_2 + 2e^-$

d. $PbO_2 + SO_4^{2-} + 2H_2 \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O + 2e^-$

① a　　② b
③ c　　④ d

(2)　文中の下線部(b)について，鉛蓄電池を放電して電子が 0.50mol 流れたとき，負極は何 g 増加するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，原子量は O：16，S：32，Pb：207 とする。

① 24g　　② 48g
③ 72g　　④ 96g

(3)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 一次電池　　② 二次電池
③ ダニエル電池　　④ ボルタ電池

(4) 文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 水素イオン　② 水酸化物イオン

③ 水素　④ 水

(5) リチウムイオン電池は起電力が大きいことが特徴であるが，その起電力として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 約 1.2V　② 約 2.0V

③ 約 4.0V　④ 約 5.2V

# PART3　電気分解の基本

目標　・電気分解とは何かを理解し，各極の反応式を作れるようになろう！

## Chapter1　電気分解

要点

電気分解

・電池（直流電源）を利用し，電子を強制的に流して酸化還元反応を起こす。

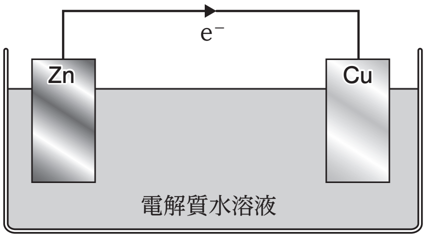
　陽極：電池の正極とつながっている極

　陰極：電池の負極とつながっている極

### ◆ 電池と電気分解　重要

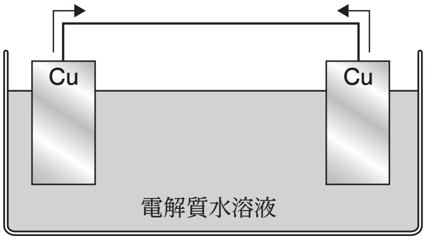
電池は自発的に電子が流れる。

（酸化還元反応が起こる）



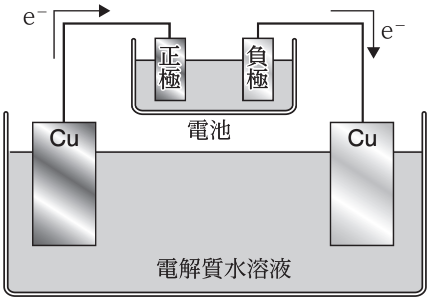

それに対して**電気分解**は，強制的に電子を流し酸化還元反応を起こしていく。

例えば，右図のような状態（電極が共に銅）だと，電子は流れない。




しかし，2 つの電極を電池につなぐと，負極からは強制的に電子が送られ，正極からは強制的に電子を奪い取られる。

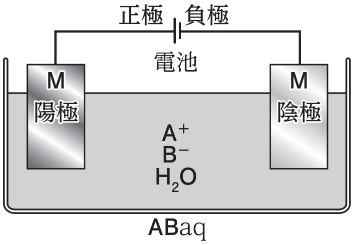
このように，電池を利用し，強制的に酸化還元反応を起こすのが電気分解である。



### ◆ 各極の名前　重要

電池の正極とつながっている極を**陽極**,
電池の負極とつながっている極を**陰極**という。

電池と電気分解では名前が異なり,
起こる変化が逆であるため注意が必要である。




**まとめ**

・電気分解では, 電池の正極とつながっている極を（　　　　）, 電池の負極とつながっている極を（　　　　）という。

## Chapter2　陰極の反応

**要点**

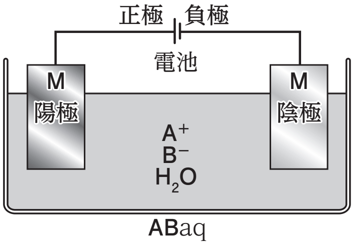
陰極の反応

電池の負極から送られてくる電子を処理する反応（還元反応）が進行する。

### ◆ 陰極の反応　重要

陰極では，電池の負極から送られてくる電子を処理する反応，すなわち還元反応が進行する。

「誰が電子を処理できるのか」を考えていこう。




図の中で電子を処理できるのは,「溶液中の陽イオン $A^+$」と「水 $H_2O$」の２種である。（電極 M は金属なので，電子を放出する性質。陰イオン $B^-$と電子はマイナス同士なので近づくこともできない。）

水溶液中の陽イオン $A^+$

陽イオン（+）は電子（−）を受け入れることができる。

ただし，電子を受け入れるのは，陽イオンの中でもイオン化傾向が比較的小さいイオン

である。

具体的には「**イオン化傾向 Zn 以下のイオン**」で，含まれるのは「重金属イオン（密度 4g/cm³ 以上）」と「水素イオン」である。

**$A^+$が重金属イオンのとき　→ 重金属が析出する**（$M^{n+} + ne^- \rightarrow M$）

**$A^+$が水素イオンのとき　→ 水素が発生する**（$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$）

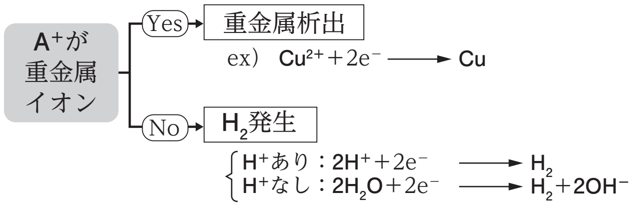
水 $H_2O$

水が電子を処理して水素が発生する。

$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

以上より，陰極の反応は次のようにまとめることができる。

陰極の反応式




まとめ

・陰極の反応

水溶液中の陽イオンが重金属イオンのとき→（　　　　　　）析出

重金属イオンではないとき→（　　　　　）発生

# Chapter3　陽極の反応

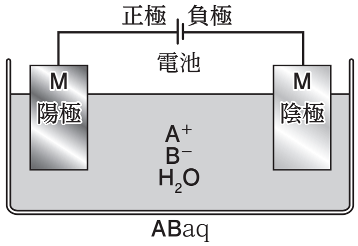
要点

陽極の反応

電池の正極に向けて電子を放出する反応（酸化反応）が進行する。

## ◆ 陽極の反応　重要

陽極では，電池の正極に向けて電子を放出する反応，すなわち酸化反応が進行する。「誰が電子を放出できるのか」を考えていこう。




図の中で電子を放出できるのは，「電極M（金属）」と「水溶液中の陰イオン $B^-$」「水 $H_2O$」の３種である。（陽イオン $A^+$ はこれ以上電子を放出できない。）

## 電極M

電極Mは金属で陽性（電子を放出して陽イオンになる性質）なので電子を喜んで放出する。ただし，イオン化傾向が極めて小さい白金Ptや金Au，そして非金属の炭素C（黒鉛）は電子を放出しない。

**Mが白金Pt（金Au）or 炭素C以外　→ 電極溶解**（$M \rightarrow M^{n+} + ne^-$）

## 陰イオン $B^-$

陰イオンは電子を放出することができる。しかし，安定な陰イオン（$SO_4^{2-}$ や $NO_3^-$ など）は電子を放出しない。放出するのは水酸化物イオン $OH^-$ とハロゲン化物イオン $X^-$ である。

**$B^-$ がハロゲン化物イオン $X^-$ → ハロゲンの単体 $X_2$ が生成**（$2X^- \rightarrow X_2 + 2e^-$）

**$B^-$ が水酸化物イオン $OH^-$ → 酸素 $O_2$ が発生**（$4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$）

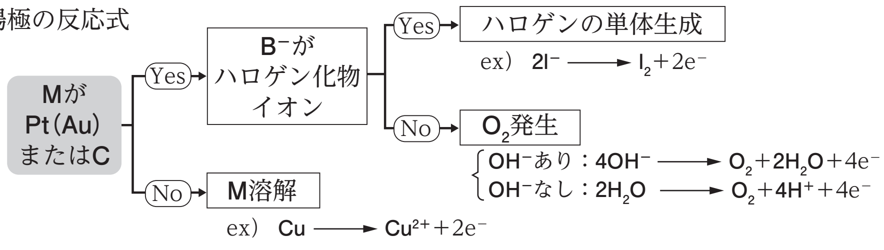
## 水 $H_2O$

電極Mも陰イオン $B^-$ も電子を放出できないときは，水が電子を放出して酸素が発生する。

$$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

以上より，陽極の反応は次のようにまとめることができる。

陽極の反応式



まとめ

・陽極の反応

電極が白金 Pt（金 Au）・炭素 C 以外のとき→（　　　　　　）

電極が白金 Pt（金 Au）・炭素 C のときは以下

水溶液中の陰イオンがハロゲン化物イオンのとき→（　　　　　　　　）生成

上記以外のとき→（　　　　）発生

# Chapter4　各極の反応式を作る練習

## ◆ 各極の反応式を作る練習

次の電気分解の各極の反応式を作ってみよう。

(1)　$CuCl_2$ 水溶液

陰極　C 電極：

陽極　C 電極：

(2)　$H_2SO_4$ 水溶液

陰極　Pt 電極：

陽極　Pt 電極：

(3)　NaOH 水溶液

陰極　Pt 電極：

陽極　Pt 電極：

(4)　NaCl 水溶液

陰極　Fe 電極：

陽極　C 電極：

(5)　$CuSO_4$ 水溶液

陰極　Cu 電極：

陽極　Cu 電極：

# Chapter5　演習問題

**問**　白金電極を用いて，硝酸銅 $Cu(NO_3)_2$ 水溶液の電気分解を 0.50A の電流で 1930 秒おこなった。このとき，陽極，陰極で生成する物質の化学式と物質量を答えよ。ただし，ファラデー定数は $9.65 \times 10^4$C/mol とする。

# 第 6 講　PART3　確認問題

問 1　電池を利用し，電子を強制的に流して酸化還元反応を起こすことを電気分解という。電気分解では，電池の（　ア　）とつながっている極を陽極といい,（　イ　）反応が進行する。また，電池の（　ウ　）とつながっている極を陰極といい,（　エ　）反応が進行する。陽極・陰極に銀電極を用いて硝酸銀水溶液の電気分解をおこなうと，各極で以下のような反応が起こる。

陽極：(　オ　)

陰極：(　カ　)

(1)　文中の（　ア　),（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ア：正極　　イ：酸化　　② ア：正極　　イ：還元

③ ア：負極　　イ：酸化　　④ ア：負極　　イ：還元

(2)　文中の（　ウ　),（　エ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ウ：正極　　エ：酸化　　② ウ：正極　　エ：還元

③ ウ：負極　　エ：酸化　　④ ウ：負極　　エ：還元

(3)　文中の（　オ　）に当てはまる反応式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$

② $4OH^{-} \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^{-}$

③ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^{+} + 4e^{-}$

④ $H_2 + 2OH^{-} \rightarrow 2H_2O + 2e^{-}$

⑷　文中の（　カ　）に当てはまる反応式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $4H^{+} + O_2 + 4e^{-} \rightarrow 2H_2O$

② $2H^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_2$

③ $2H_2O + 2e^{-} \rightarrow H_2 + 2OH^{-}$

④ $Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag$

# PART4　電気分解の工業的利用

目標　・電気分解の工業的利用にはどんなものがあるか押さえよう！

## Chapter1　水酸化ナトリウムの製造

要点

水酸化ナトリウムの製造

・陽極：電極 C，NaClaq

　陰極：電極 Fe，希薄な NaOHaq

両極の電解液を陽イオン交換膜で仕切る。

### ◆ 水酸化ナトリウムの製造　重要

陽極　電極　：C

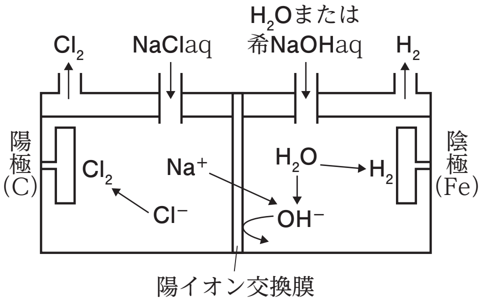
電解液：NaClaq

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極　電極　：Fe

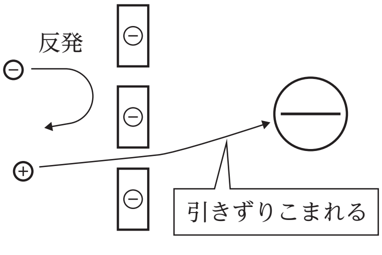
電解液：希薄な NaOHaq

$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$




### ◆ 陽イオン交換膜　重要

陽イオン交換膜とは，陽イオンだけを通過させる膜である。膜が負に帯電しているため，陰イオンは反発により通過できないが，陽イオンは通過できる。

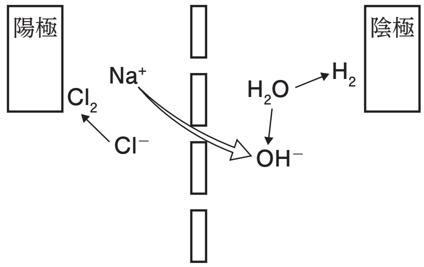



NaOH の製造では，両極の電解液を陽イオン交換膜で仕切る。仕切っていないと，陽極で発生する $Cl_2$ と陰極で生成する $OH^-$が中和反応を起こすためである。

$$Cl_2 + 2OH^- \rightarrow Cl^- + ClO^- + H_2O$$

陽イオン交換膜で仕切ることにより，$Na^+$ が陽極側から陰極側に移動し陰極側で

NaOH が生成する。このようなイオン交換膜を用いた製造法を**イオン交換膜法**という。




陽イオン交換膜

### ◆ 陰極側に希薄なNaOHaqを用いる理由 重要

陰極で反応するのは $H_2O$ なので，陰極の電解液は $H_2O$ のみで良いはずである。しかし，$H_2O$ はほとんど電離しておらずイオンが極めて少ない。よって，少量の NaOH を加えて電流を流れやすくしている。

**まとめ**

・NaOH の製造では，陽極の電解液に（　　　　　　　　），陰極の電解液に希薄な（　　　　　　　　）を用いて電気分解をおこなう。両極の電解液を（　　　　　　）で仕切る。

## Chapter2　アルミニウムの製造（溶融塩電解）

**要点**

アルミニウムの製造（溶融塩電解）

電極：両極とも C

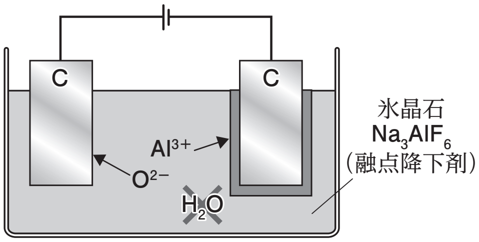
電解液：$Al_2O_3$ 融解液（＋氷晶石 $Na_3AlF_6$）

### ◆ 溶融塩電解（融解塩電解） 重要

電解液に融解液を用いた電気分解を**溶融塩電解（融解塩電解）**といい，通常，軽金属の製法に利用される。

融解液は，固体を融点まで加熱して液体にしたものなので $H_2O$ が存在していない。それを踏まえ，各極でどんな反応が起こるか考えていこう。

### ◆ アルミニウムの製造（$Al_2O_3$の溶融塩電解） 重要




電解液　$Al_2O_3$ 融解液

（＋氷晶石 $Na_3AlF_6$）

陽極　電極 C

$C + O^{2-} \rightarrow CO + 2e^-$

$C + 2O^{2-} \rightarrow CO_2 + 4e^-$

酸化されやすい C を電極に用いることで反応が進み，CO や $CO_2$ が発生する。

陰極　電極 C

$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$

$H_2O$ が存在しないため, 通常は析出しない軽金属の Al が電子を処理して析出する。

### ◆ 氷晶石を用いる理由 重要

$Al_2O_3$ の融点は約 2000℃と非常に高いため，融解液を作るためにコストがかかる。

そこで，融点降下剤として氷晶石 $Na_3AlF_6$ を加えて融解させる。それにより約 1000℃で融解させることができる。

氷晶石 $Na_3AlF_6$ は，以下の点で融点降下剤として適切である。

・Al よりイオン化傾向の小さい金属が含まれていない。

・融解したときに多数のイオンに分かれる。（融点降下度は粒子数に比例する）

**まとめ**

・ Al の製造では, 両極の電極に（　　　　　　）, 電解液に（　　　　　　　）を用いる。

## Chapter3　銅の電解精錬

**要点**

銅の電解精錬

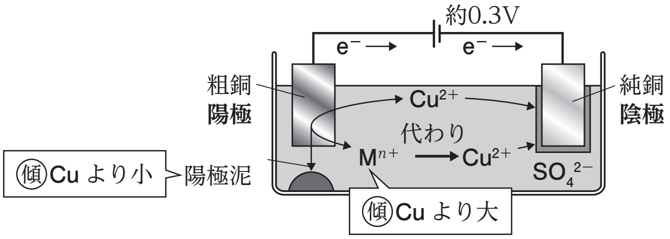
陽極に粗銅（不純物を含む銅），陰極に純銅を用いて硫酸酸性の硫酸銅（Ⅱ）水溶液を電気分解する。

### ◆ 銅の電解精錬 重要

銅は主に黄銅鉱 $CuFeS_2$ として産出される。黄銅鉱から取り出した銅には不純物が含まれており（純度約 99%），これを**粗銅**（そどう）という。

粗銅に含まれる不純物を取り除き，純度の高い銅を得る操作に利用されているのが電気分解で，この操作を**電解精錬**という。

銅の電解精錬は，陽極に粗銅，陰極に純銅を用いて硫酸酸性の硫酸銅（Ⅱ）$CuSO_4$ 水溶液を電気分解する。




陽極の変化

電極の溶解により，銅と不純物が溶解することになる。このとき，イオン化傾向が Cu より大きい不純物はイオンとして水溶液中に溶け出し，イオン化傾向が Cu より小さい不純物は単体のまま陽極の下にたまる（**陽極泥**という）。

・Cu

$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

・不純物

イオン化傾向が Cu より大（Zn・Ni など）：$M \rightarrow M^{n+} + ne^-$

イオン化傾向が Cu より小（Ag・Au など）：**陽極泥**

陰極の変化

溶液中に存在する金属（陽）イオンの中で一番イオン化傾向が小さい $Cu^{2+}$ が $e^-$ を処理して Cu が析出する。

$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

このとき，他の重金属イオンである $Zn^{2+}$ などが析出しないよう，低電圧で電気分解をおこなうのがポイントである。

まとめ

・銅の電解精錬は , 陽極に（　　　　），陰極に（　　　　）を用いて，

（　　　　　　　　　　）を電気分解する。

粗銅に含まれる不純物のうち，イオン化傾向が Cu より小さい金属は

（　　　　）として析出する。

# Chapter4　演習問題

問　陽極の電極に炭素 C，電解液に塩化ナトリウム水溶液を，陰極の電極に鉄 Fe，電解液に希薄な水酸化ナトリウム水溶液を用いて，両極を陽イオン交換膜で仕切り電気分解をおこなった。

(1)　各極で起こる化学変化を $e^-$ を含む反応式で書け。

(2)　陽イオン交換膜を通過するイオンの化学式を書け。また，どちらの極からどちらの極に移動するか答えよ。

< Note >

# 第6講　PART4　確認問題

問1　水酸化ナトリウムの製造では，陽極の電極に炭素，陰極の電極に鉄，両極の電解液に(a)それぞれ異なる水溶液を用いて，電気分解がおこなわれている。なお，両極の電解液の間は（　ア　）で仕切られている。最終的に水酸化ナトリウムは（　イ　）側で生成する。

(1)　文中の下線部(a)について，陽極側で用いられている水溶液として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① NaClaq　② $Na_2CO_3$aq

③ 希薄な NaOHaq　④ 濃い NaOHaq

(2)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 陽イオン交換膜　② 陰イオン交換膜

③ 素焼き板

(3)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 陽極　② 陰極

問2　アルミニウムの製造では，両極の電極に（　ア　），電解液に $Al_2O_3$ 融解液を用いて，電気分解がおこなわれている。$Al_2O_3$ は，融点が約 2000℃と非常に高いため，融点降下剤として氷晶石を加えて融解させており，これにより約（　イ　）℃で融解させることができる。

また銅の電解精錬は，陽極に粗銅，陰極に純銅を用いて，硫酸酸性の（　ウ　）水溶液を電気分解する。この際，陰極では銅が析出し，(a)陽極では不純物がイオンとして溶出，あるいは陽極泥として沈殿する。

(1) 文中の（　ア　）に当てはまる化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① Pt　② Fe
③ C　④ Al

(2) 文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 100　② 500
③ 1000　④ 1500

(3) 文中の（　ウ　）に当てはまる化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $CuCl_2$　② $Cu(NO_3)_2$
③ $CuCO_3$　④ $CuSO_4$

(4) 文中の下線部(a)について，次の①～④の金属のうち，粗銅に不純物として含まれていた場合に陽極泥として沈殿するものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① Al　② Ag
③ Ca　④ Zn

# PART5　電気分解の計算

目標　・電気分解の計算をしっかりと演習していこう！

## Chapter1　問題 1

要点

注目する物質の物質量の表し方

・注目する物質の物質量は「流れた $e^-$ の何倍か」で表す。

### ◆ 注目する物質の物質量の表し方　重要

注目する物質の物質量は「流れた $e^-$ の何倍か」で表していこう。

**例**　$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^-$

溶解する Cu の物質量は流れた $e^-$ の $\frac{1}{2}$ 倍

### ◆ 問題 1

両極に炭素 C 電極を用いて，塩化銅（Ⅱ）$CuCl_2$ 水溶液の電気分解をおこなったところ，陰極が 2.54g 増加した。以下の問いに答えよ。

ただし，Cu の原子量は 63.5，ファラデー定数は $9.65 \times 10^4$C/mol とする。

(1)　陽極で発生する気体の体積は標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）で何 L か。ただし，発生する気体は水に溶けないものとする。

(2)　流れた電流が 0.500A であるとき，電気分解をおこなっていた時間は何秒間か。

## Chapter2　問題 2

要点

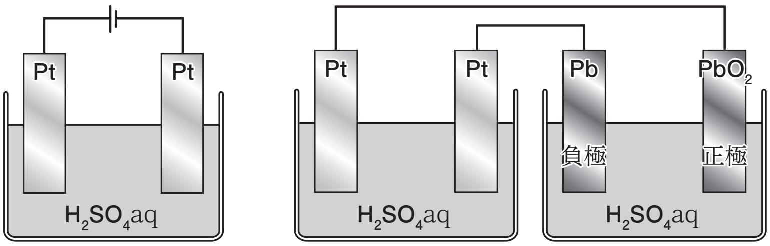
図のなかで最初に注目する部分

電解の図を与えられたときは，最初に電池を探そう。

### ◆ 図の中で最初に注目する部分　重要

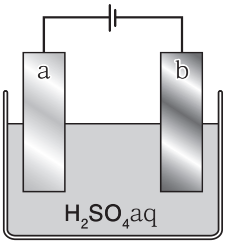
電解装置の図を与えられたとき，一番最初に「電池」を探そう。電池を認識することで，電解の「陽極」「陰極」を正確に判断できるので小さなミスが無くなる。

例




◆ 問題2

図のような装置で電気分解をおこなった。
電極 a・b は共に白金 Pt である。




(1) 電極 a と電極 b で起こる化学変化を $e^-$を用いた反応式で書け。

(2) 電極 b で発生した気体の体積が標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）で 1.12L であったとき，電極 a で発生した気体の体積は標準状態で何 L か。ただし，発生する気体はそれぞれ水に溶けないものとする。

## Chapter3　問題3

**要点**

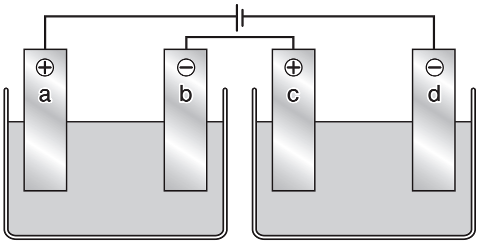
直列つなぎ

電解槽が直列つなぎで複数ある場合，全ての電極に同じ量の電子が流れている。

### ◆ 直列つなぎ　重要

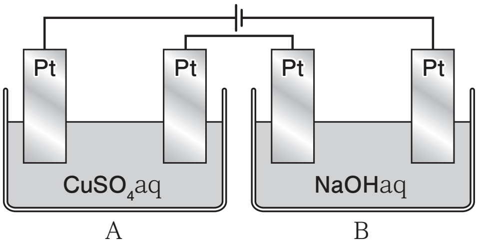
2つ以上の電解槽が直列つなぎでつながっている場合，全ての電極に同じ量の電子が流れていることに注意しよう。

例　次の図の電極 a ~ d に流れている電子は全て同じ物質量



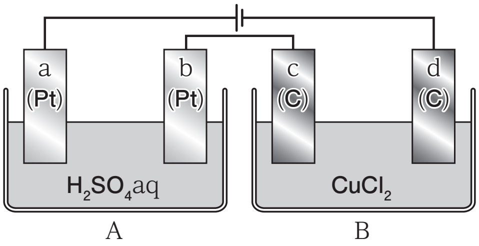
### ◆ 問題3

図のような装置を用い，直流電流を流して電気分解をおこなった。このとき，電解槽Aの陽極で発生する気体の体積は，電解槽Bの陰極で発生する気体の体積の何倍か。ただし，発生する気体はそれぞれ水に溶けないものとする。




## Chapter4　問題4

図のような装置を用い，直流電流を流して電気分解をおこなった。以下の問いに答えよ。




(1)　電極a～dで起こる変化を$e^-$を含む反応式でそれぞれ表せ。

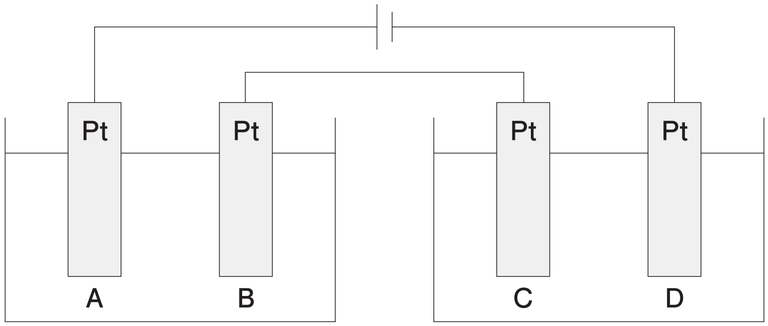
(2)　電極付近のpHが大きくなるのは電極a～dのいずれか。全て答えよ。

(3)　電解槽Aで発生した気体の体積が標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）で合計0.42Lであったとき，流れた電子の物質量は何molか。ただし，発生する気体はそれぞれ水に溶けないものとする。

< Note >

# 第６講　PART5　確認問題

問１　下の図のような装置を用いて，直流電流を流し電気分解をおこなった。次の問いに答えよ。




(1)　電極 A で起こる変化を表した反応式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

② $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

③ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

④ $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$

(2)　電極 C で起こる変化を表した反応式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

② $Na^+ + e^- \rightarrow Na$

③ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

④ $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

(3) 電極Bが1.27g増加したとき，流れた電子の物質量は何molか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，Cuの原子量は63.5とする。

① $1.00 \times 10^{-2}$ mol　② $2.00 \times 10^{-2}$ mol
③ $4.00 \times 10^{-2}$ mol　④ $8.00 \times 10^{-2}$ mol

(4) 流れた電流が0.100A，電気分解をおこなっていた時間が32分10秒のとき，電極Dで発生する気体の体積は標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$ Pa）で何Lか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，ファラデー定数は$9.65 \times 10^4$ C/molとし，発生する気体は水に溶けないものとする。

① $1.12 \times 10^{-2}$ L　② $2.24 \times 10^{-2}$ L
③ $4.48 \times 10^{-2}$ L　④ $8.96 \times 10^{-2}$ L

第7講　反応速度

# PART1　化学反応の仕組み・反応速度を決める要素

目標　・化学反応はどのように進行しているのかを知り，反応速度について考えよう！

## Chapter1　反応の進み方

要点

反応の進み方

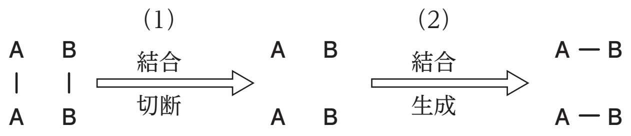
・反応物が生成物に変化するまでに，遷移状態（または活性化状態）を経由している。

### ◆ 反応の進み方　重要

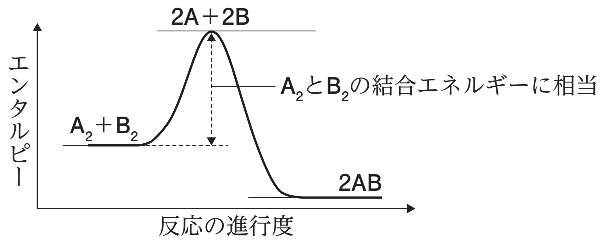
反応はどのように進行しているのだろうか。次の反応を例に考えてみよう。

例　$A_2 + B_2 \rightarrow 2AB$

$A_2$ と $B_2$ が AB に変化するためには，A ― A 結合と B ― B 結合が切れ，A ― B 結合が生じる必要があるように思われる。

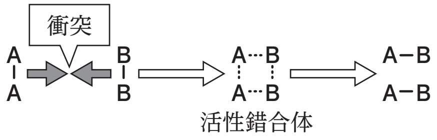



この場合，一旦結合が切れて原子に変化するため，反応が進行するためには，結合エネルギーに相当するエネルギーが必要となる。




しかし，実際には結合エネルギーより小さなエネルギーで反応は進行している。すなわち，反応物は反応の過程で原子にはなっていない。

正しい反応経路を確認してみよう。




まず，反応物同士が**衝突**し，活性錯合体（完全に結合が切れている状態ではなく，原子より安定）が生じる。そして生成物に変化する。

この活性錯合体になっている状態を**遷移状態**または**活性化状態**という。

まとめ

・反応が進行する過程は，まず，反応物が（　　　　　）し，エネルギーが高い（　　　　　　　　　　　　　　　）を経て生成物に変化する。

## Chapter2　活性化エネルギー

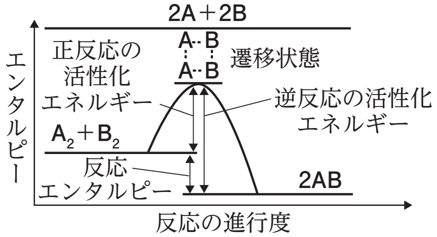
要点

活性化エネルギー

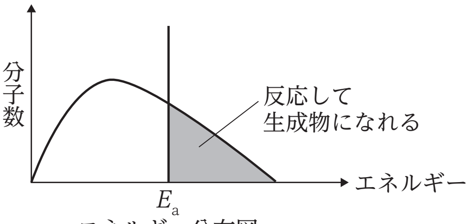
反応物が遷移状態（活性化状態）になるために必要なエネルギー，すなわち反応が進行するために最低限必要なエネルギー。

### ◆ 活性化エネルギー　重要

反応が進行するためには，反応物が遷移状態（活性化状態）になるためのエネルギーが必要である。これは，反応が進行するために最低限必要なエネルギーと考えることができる。このエネルギーを**活性化エネルギー**という。




以上より，活性化エネルギー以上のエネルギーをもつ物質が，反応して生成物に変化することがわかる。




エネルギー分布図

**まとめ**

・反応が進行するために最低限必要なエネルギーを（　　　　　　　　　　）という。

## Chapter3　活性化エネルギーと反応速度

**要点**

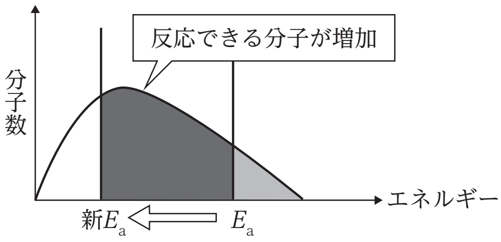
活性化エネルギーと反応速度

活性化エネルギーが低いほど反応速度は大きくなる。

活性化エネルギーを低くするために加える物質が触媒である。

### ◆ 活性化エネルギーと反応速度　重要

活性化エネルギーが低いほど反応できる分子が増え，反応速度が大きくなる。




### ◆ 触媒　重要

反応前後で自身は変化せず，活性化エネルギーを低くする（反応速度を大きくする）物質を触媒という。触媒を加えると活性化エネルギーが低くなるため，反応速度が大きくなる。

反応物と均一に混じり合う触媒を**均一系触媒**，混じり合わない触媒を**不均一系触媒**という。

**例**　$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$ の反応において，$FeCl_3$aq は均一系触媒としてはたらき，$MnO_2$ は不均一系触媒としてはたらく。

**まとめ**

・活性化エネルギーが（　　　　）ほど反応速度は大きくなる。自身は変化せず，活性化エネルギーを低くし反応速度を大きくする物質を（　　　　）という。

# Chapter4　温度と反応速度

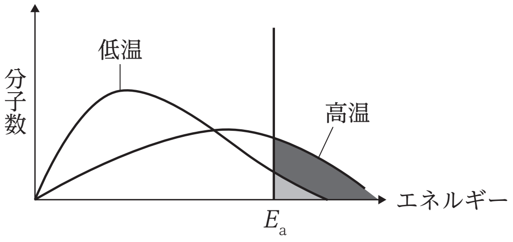
**要点**

温度と反応速度

温度が高いほど，反応速度が大きくなる。

## ◆ 温度と反応速度　重要

温度を上げると，活性化エネルギー以上のエネルギーをもった分子の割合が増える。これにより，反応速度が大きくなる。




**まとめ**

・温度を上げると，（　　　　　　　　）以上のエネルギーをもった分子の割合が増えるため，反応速度は（　　　　）なる。

# Chapter5　演習問題

**問**　右図は以下に示す反応の反応経路を示したものである。

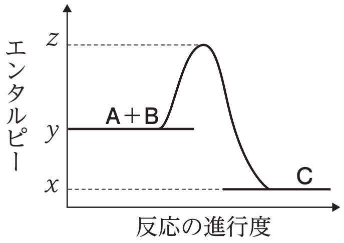
A＋B→C

以下の問いに答えよ。

(1)　この反応は発熱反応か，吸熱反応か答えよ。

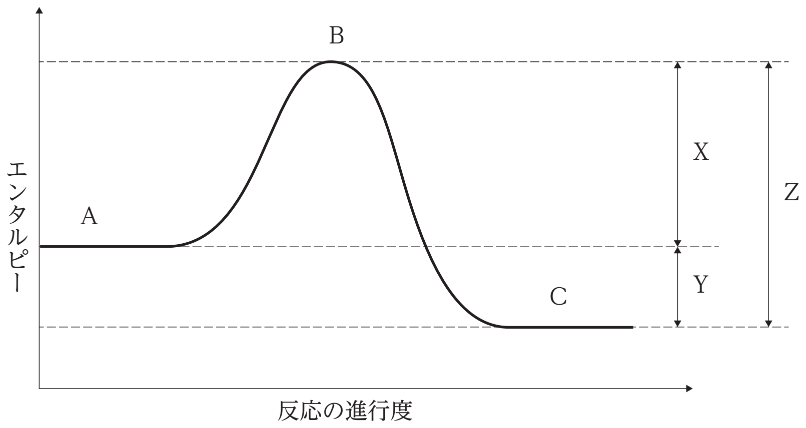
(2)　この反応の反応エンタルピーを，$x$・$y$・$z$ を使って答えよ。

(3)　この反応の正反応の活性化エネルギーを，$x$・$y$・$z$ を使って答えよ。



# 第７講　PART1　確認問題

問１　下の図は，水素とヨウ素からヨウ化水素が生成する反応のエネルギー変化を１つの遷移状態を経由するモデルで表したものである。この図について，次の問いに答えよ。




(1)　この反応の遷移状態に該当する部分として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① A　　② B

③ C

(2)　この反応の活性化エネルギーを表しているものとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① X　　② Y

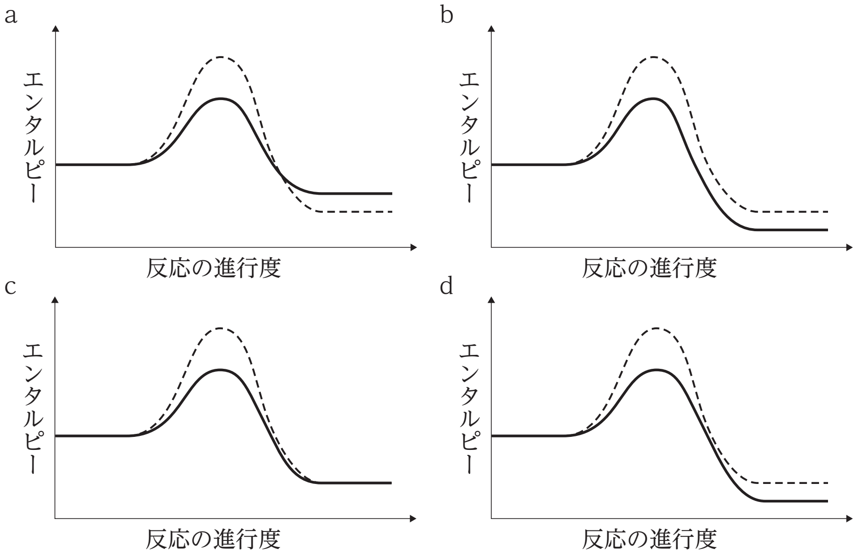
③ Z

(3)　この反応の反応エンタルピーを表しているものとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① X　　② Y

③ Z

(4) この反応に触媒を加えたとき，反応のエネルギーはどのように変化するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。なお，点線は触媒を加える前の反応を表しており，実線は触媒を加えた後の反応を表している。




① a　　② b
③ c　　④ d

(5) 温度を上げると，反応速度はどのようになるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 大きくなる　　② 小さくなる
③ 変わらない

# PART2　濃度と反応速度

目標　・濃度と反応速度の関係を理解し，反応速度式を求める実験を確認してみよう！

## Chapter1　濃度と反応速度

要点

濃度と反応速度・反応速度式

・反応物の濃度が大きくなると衝突回数が増加し，反応速度が大きくなる。
　反応物のモル濃度と反応速度の関係を表した式を反応速度式（速度式）という。

### ◆ 濃度と反応速度　重要

反応が進行するためには，反応物同士の衝突が必要である。

反応物の濃度が大きくなると，反応物同士の衝突回数が増加するため反応速度が大きくなる。

### ◆ 反応速度式　重要

反応物のモル濃度と反応速度の関係を表した式を反応速度式（速度式）という。

化学反応 $x\,\mathrm{A} + y\,\mathrm{B} \rightarrow z\,\mathrm{C}$ において，反応速度式 $v = k[\mathrm{A}]^x\,[\mathrm{B}]^y$　が成立する。

**$k$：速度定数**

活性化エネルギーと温度で決まる定数。

活性化エネルギーが小さいほど，また，温度が高いほど $k$ が大きくなる。

$x$・$y$：化学反応式の係数と一致することもあるが，正確には実験から求められる数値。

例　$H_2 + I_2 \rightarrow 2HI$　　$v = k[H_2][I_2]$

$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$　　$v = k[H_2O_2]$

まとめ

・反応物の濃度が大きくなると，反応物同士の（　　　　　　）が増加するため反応速度が（　　　　　）なる。

・反応物のモル濃度と反応速度の関係を表した式を（　　　　　　　　　　）という。

# Chapter2　反応速度式を求める実験

**要点**

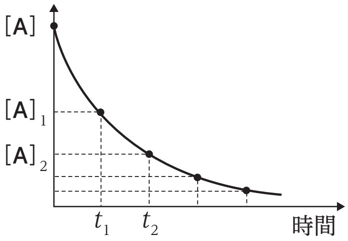
反応速度式を求める実験

反応の進行に伴う反応物のモル濃度の変化を調べ，各時間帯の平均の濃度と平均の速さから速度定数を求めることができる。

## ◆ 反応速度式を求める実験　重要

反応速度式を求めるには以下のような実験をおこなう。

(1)　単位時間あたりの反応物の減少量を測定する。




(2)　各時間帯の平均の濃度を求める。

$$[\overline{A}] = \frac{[A]_1 + [A]_2}{2}$$

(3)　各時間帯の平均の速さを求める。

※平均の速さは，単位時間あたりに減少する反応物の物質量（増加する生成物の物質量）

$$\overline{v} = -\frac{[A]_2 - [A]_1}{t_2 - t_1}$$

(4)　求めた平均の濃度と平均の反応速度の関係を導く。

高校化学で扱う問題のほとんどは一次反応であるため，$\frac{\overline{v}}{[\overline{A}]} = k$（一定値）になる。

| 時間$t$ 〔min〕 | 濃度[A] 〔mol/L〕 | 平均の速さ$\overline{v}$ 〔mol/L・min〕 | 平均の濃度$[\overline{A}]$ 〔mol/L〕 | $\overline{v}/[\overline{A}]$ 〔/min〕 |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 5.02 | $\frac{5.02-4.20}{4-0}=0.205$ | $\frac{5.02+4.20}{2}=4.61$ | $\frac{0.205}{4.61}=4.45\times10^{-2}$ |
| 4 | 4.20 | 同様に0.170 | 同様に3.86 | 同様に $4.40\times10^{-2}$ |
| 8 | 3.52 | 同様に0.140 | 同様に3.17 | 同様に $4.42\times10^{-2}$ |
| 13 | 2.82 | | | |

ほぼ一定
$\overline{v}/[\overline{A}]=k$より
$\overline{v}=k[\overline{A}]^1$とわかる

そして，各時間帯における $k$ の平均値がこの反応の速度定数となる。

**まとめ**

・反応速度式を求める実験では，反応の進行に伴う反応物のモル濃度の変化を調べ，各時間帯の（　　　　　　　）と（　　　　　　　）から速度定数を求める。

# Chapter3　反応速度式を求める実験の計算

要点

反応速度式を求める実験の計算

各時間帯の「平均の濃度」と「平均の速さ」を求めることを徹底する。

## ◆ 反応速度式を求める実験の計算　重要

例題

一定温度のもとで，過酸化水素の分解反応をおこなった。

$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

その結果，過酸化水素のモル濃度の変化は表のようであった。

この結果を用いて以下の問いに答えよ。

| 時間〔min〕 | $[H_2O_2]$〔mol/L〕 |
|---|---|
| 0 | 0.88 |
| 2 | 0.22 |
| 4 | 0.056 |

(1)　この反応の反応速度式を以下のように表したとき，$x$ に入る数値を求めよ。

$v = k[H_2O_2]^x$

(2)　この反応の速度定数 $k$〔/min〕を求めよ。

---

考え方

(1)　0 ～ 2 分について

① $H_2O_2$ の平均の濃度：0.550 mol/L

②平均の速さ：0.330 mol/(L・min)

③②を①で割った値：0.600 /min

2 ～ 4 分について

① $H_2O_2$ の平均の濃度：0.138 mol/L

②平均の速さ：0.0820 mol/(L・min)

③②を①で割った値：0.594 /min

各時間帯の③の値がほぼ一定であることから，この反応は一次反応である。すなわち，反応速度式は $v = k[H_2O_2]$ となるため，$x = 1$ である。

(2)　(1)の③の値の平均値がこの反応の速度定数となる。

平均値は 0.597 であるため，速度定数は 0.60 /min となる。

# Chapter4　演習問題

**問**　以下のような反応について次の問いに答えよ。

$$2\mathrm{A} + \mathrm{B} \rightarrow 2\mathrm{C}$$

⑴　ある瞬間のＢの減少速度が $2.0 \times 10^{-3}$ mol/(L・s)であった。このとき，Ｃの増加速度はいくらか。

⑵　Ａのモル濃度のみを２倍にしたところ，Ｃの増加速度も２倍になり，Ｂのモル濃度のみを２倍にしたところ，Ｃの増加速度は４倍になった。以下の反応速度式の $x$ と $y$ に当てはまる数値をそれぞれ整数で答えよ。

$$v = k[\mathrm{A}]^x[\mathrm{B}]^y$$

# 第７講　PART2　確認問題

問１　一定温度のもと，過酸化水素の分解反応をおこなった。

$2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

その結果，過酸化水素のモル濃度の変化は以下の表のようになった。

| 時間〔min〕 | $[H_2O_2]$〔mol/L〕 |
|---|---|
| 0 | 1.60 |
| 4 | 0.40 |
| 8 | 0.10 |

この表について，次の問いに答えよ。

(1)　0 ～ 4 分について，平均の速さを $H_2O_2$ の平均の濃度で割った値は何 /min か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 0.15/min　　② 0.30/min
③ 0.60/min　　④ 0.90/min

(2)　4 ～ 8 分について，平均の速さを $H_2O_2$ の平均の濃度で割った値は何 /min か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 0.15/min　　② 0.30/min
③ 0.60/min　　④ 0.90/min

(3)　この反応の反応速度式を $v=k[H_2O_2]^x$（$k$ は反応速度定数）とすると，$x$ に入る数値として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1　　② 2
③ 3　　④ 4

⑷ この反応の反応速度定数 $k$〔/min〕として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 0.15/min　② 0.30/min

③ 0.60/min　④ 0.90/min

第8講　化学平衡

# PART1　平衡定数

目標　・平衡状態とは何かを理解し，平衡定数を使った計算をマスターしよう！

## Chapter1　可逆反応と化学平衡

**要点**

化学平衡の状態（平衡状態）

・可逆反応において，正反応と逆反応の速さが一致し，見かけ上反応が停止した状態。

### ◆ 可逆反応　重要

正反応（右向きの反応）も逆反応（左向きの反応）も進行する反応を**可逆反応**という。

例　$x\,\mathrm{A} + y\,\mathrm{B} \rightleftarrows z\,\mathrm{C}$

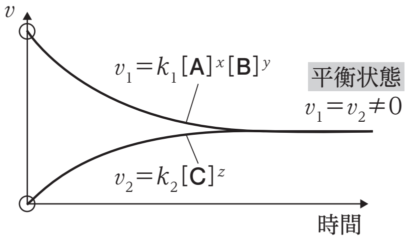
### ◆ 化学平衡　重要

可逆反応をしばらく放置すると，正反応の速さ $v_1$ と逆反応の速さ $v_2$ が一致し，見かけ上反応が停止した状態になる。これを**化学平衡**の状態（**平衡状態**）という。

このとき，正反応も逆反応も停止していない（$v_1 = v_2 \neq 0$）ことに注意しよう。

例　$x\,\mathrm{A} + y\,\mathrm{B} \rightleftarrows z\,\mathrm{C}$

正反応の速さ（$v_1 = k_1[\mathrm{A}]^x[\mathrm{B}]^y$）と逆反応の速さ（$v_2 = k_2[\mathrm{C}]^z$）は以下のように変化する。




| | | |
|---|---|---|
| 正反応の速さ | ⇒ | $v_1$ |
| 逆反応の速さ | ⇒ | $v_2$ |
| 見かけの速さ | ⇒ | $v_1 - v_2$ |

また，正反応の速さと逆反応の速さの差（$v_1 - v_2$）を見かけの速さという。

**まとめ**

・可逆反応において，正反応の速さと逆反応の速さが一致し，見かけ上反応が停止した状態を（　　　　　　）の状態，または（　　　　　　）という。

# Chapter2　平衡定数

要点

平衡定数

化学反応 $x$ A + $y$ B ⇄ $z$ C が平衡状態にあるとき，以下の式が成立する。

$$K_c = \frac{[C]^z}{[A]^x[B]^y}$$

## ◆ 平衡定数　重要

化学反応 $x$ A + $y$ B ⇄ $z$ C について考えよう。

正反応の速さ $v_1$ と逆反応の速さ $v_2$ を以下のように表すことができるとする。

$$v_1 = k_1[A]^x[B]^y$$

$$v_2 = k_2[C]^z$$

この反応が平衡状態（$v_1 = v_2$）にあるとき，次のようになる。

$$k_1[A]^x[B]^y = k_2[C]^z$$

この式を変形すると以下のようになる。

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^z}{[A]^x[B]^y}$$

$k_1$ と $k_2$ は定数であるため，$\frac{k_1}{k_2}$ も定数となる。この定数を平衡定数 $K_c$ といい，この定数は温度が一定のときには常に一定である。

まとめると，以下のようになる。

上記の化学反応が平衡状態にあるとき，以下の式が成立する。

$$K_c = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[C]^z}{[A]^x[B]^y}$$

このような関係を**化学平衡の法則（質量作用の法則）**という。

まとめ

・化学反応 $x$A + $y$B ⇄ $z$C（正反応の速さ $v_1 = k_1[A]^x[B]^y$，逆反応の速さ $v_2 = k_2[C]^z$）が平衡状態にあるとき，以下の式が成立する。

$K_c$ = (　　) = (　　　　　)

# Chapter3　平衡定数を使った計算

要点

平衡定数を使った計算

「反応前」「変化量」「平衡後」の情報を表にし，「平衡後」のデータをモル濃度に変えて平衡定数に代入する。

## ◆ 平衡定数を使った計算　重要

平衡定数を使った計算では，「反応前」「変化量」「平衡（に達した）後」のデータを表にし，「平衡後」のデータをモル濃度に変えて平衡定数 $K_c$ に代入する。

例題

次の可逆反応について以下の問いに答えよ。

$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI$

2.0L の容器に $H_2$ 1.0 mol と $I_2$ 1.0 mol を入れ，ある温度で一定に保ったところ，HI が 1.6 mol 生成して平衡状態となった。この温度における平衡定数 $K_c$ を求めよ。

---

考え方

まず，「反応前」「変化量」「平衡後」の情報を表にしてみる。（与えられたデータ（下線）以外の部分を自分で書いてみる）

| | $H_2$ + | $I_2$ ⇄ | 2HI　(2.0L) |
|---|---|---|---|
| 反応前 | 1.0mol | 1.0mol | 0mol |
| 変化量 | − 0.80mol | − 0.80mol | +1.6mol |
| 平衡後 | 0.20mol | 0.20mol | 1.6mol |

次に，平衡定数 $K_c$ の中に代入する。このとき，与えられたデータをモル濃度に変えることを忘れないようにする。

（この反応は左辺と右辺の係数の和が一致しているため，体積を忘れても影響はないが，係数の和が一致しない反応では平衡定数が変わってしまうため注意が必要である）

$$K_c = \frac{\left(\frac{1.6}{2.0}\right)^2}{\left(\frac{0.20}{2.0}\right)\left(\frac{0.20}{2.0}\right)} = \underline{\underline{64}}$$

平衡定数 $K_c$ は係数によって単位も変化するため気をつける。上記の反応では単位はない。

まとめ

・平衡定数 $K_c$ を使った計算では，「反応前」「変化量」「平衡後」のデータを表にし，
（　　　　　）のデータを（　　　　　）に変えて平衡定数に代入する。

# Chapter4　圧平衡定数

要点

**圧平衡定数**

化学反応 $x\mathrm{A} + y\mathrm{B} \rightleftarrows z\mathrm{C}$（A・B・C は気体）が平衡状態にあるとき，A・B・C の分圧をそれぞれ $P_\mathrm{A}$・$P_\mathrm{B}$・$P_\mathrm{C}$ とすると，以下の式が成立する。

$$K_p = \frac{(P_\mathrm{C})^z}{(P_\mathrm{A})^x(P_\mathrm{B})^y},\quad K_c = K_p(RT)^{x+y-z}$$

## ◆ 圧平衡定数　重要

化学反応 $x\mathrm{A} + y\mathrm{B} \rightleftarrows z\mathrm{C}$（A・B・C は気体）について考えよう。
この反応が平衡状態にあるとき，化学平衡の法則より以下のように平衡定数 $K_c$ が成立する。

$$K_c = \frac{[\mathrm{C}]^z}{[\mathrm{A}]^x[\mathrm{B}]^y} \cdots①$$

また，A・B・C は気体なので，気体の状態方程式より $\frac{n}{V} = \frac{P}{RT}$ が成立する。よって，①式のモル濃度に $\frac{P}{RT}$ を代入してみよう。A・B・C の分圧をそれぞれ $P_\mathrm{A}$・$P_\mathrm{B}$・$P_\mathrm{C}$ とすると以下のように表すことができる。

$$K_c = \frac{\left(\frac{P_\mathrm{C}}{RT}\right)^z}{\left(\frac{P_\mathrm{A}}{RT}\right)^x\left(\frac{P_\mathrm{B}}{RT}\right)^y} \cdots②$$

そして，②式の（$RT$）をまとめると以下のように表すことができる。

$$K_c = \frac{(P_\mathrm{C})^z}{(P_\mathrm{A})^x(P_\mathrm{B})^y}(RT)^{x+y-z} \cdots③$$

③式において，左辺の $K_c$ と右辺の $(RT)^{x+y-z}$ は温度が変化しない限り一定値であるため，$\frac{(P_\mathrm{C})^z}{(P_\mathrm{A})^x(P_\mathrm{B})^y}$ も同様に定数である。この定数を圧平衡定数 $K_p$ とする。

$$K_c = K_p(RT)^{x+y-z}$$

まとめると，反応が平衡状態にあるとき，平衡定数 $K_c$ と圧平衡定数 $K_p$ の関係は

$$K_c = K_p(RT)^{\text{左辺の係数の和}-\text{右辺の係数の和}}$$

となる。この関係式も重要なのでしっかり押さえておこう。

**まとめ**

・化学反応 $x$A + $y$B ⇄ $z$C（A・B・C は気体）が平衡状態にあるとき，A・B・C の分圧をそれぞれ $P_A$・$P_B$・$P_C$ とすると，以下の式が成立する。

$K_c$ = (　　　　　　　)$(RT)^{x+y-z} = K_p(RT)^{x+y-z}$

分圧を用いた式

## Chapter5　圧平衡定数を用いた計算

**要点**

圧平衡定数を用いた計算

「モル比＝分圧比」が成立するため，物質量で表を作り，平衡後のデータを圧平衡定数 $K_p$ に代入する。

### ◆ 圧平衡定数を用いた計算

**例題**

容積 10L の密閉容器に四酸化二窒素 $N_2O_4$ を入れ，ある温度で一定に保ったところ，$N_2O_4$ の 40％が解離して二酸化窒素 $NO_2$ に変化した。

$$N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2$$

平衡に達した後の全圧が $1.0 \times 10^5$Pa であったとき，この温度における圧平衡定数を求めよ。

**考え方**

反応前の $N_2O_4$ を $n$ mol として，表を作る。

| | $N_2O_4$ ⇄ | $2NO_2$ | |
|---|---|---|---|
| 反応前 | $n$ mol | 0 mol | |
| 変化量 | $-0.4n$ mol | $+0.8n$ mol | |
| 平衡後 | $0.6n$ mol | $0.8n$ mol | 計 $1.4n$ mol |

反応後の合計物質量 $1.4n$ mol に相当する圧力が $1.0\times10^5$Pa である。平衡時の $N_2O_4$ と $NO_2$ の分圧はそれぞれ以下のように表すことができる。

$$P_{N_2O_4}=1.0\times10^5\times\frac{0.6n}{1.4n}=\frac{3}{7}\times10^5\ \mathrm{Pa}$$

$$P_{NO_2}=1.0\times10^5\times\frac{0.8n}{1.4n}=\frac{4}{7}\times10^5\ \mathrm{Pa}$$

以上より，圧平衡定数は以下のように求めることができる。

$$K_p=\frac{(P_{NO_2})^2}{P_{N_2O_4}}=\frac{\left(\frac{4}{7}\times10^5\right)^2}{\frac{3}{7}\times10^5}=\frac{16}{21}\times10^5=7.61\times10^4\qquad \underline{7.6\times10^4\ \mathrm{Pa}}$$

**まとめ**

・圧平衡定数を用いた計算では，（　　　　　）の表を作り，「モル比＝分圧比」を用いて各気体の分圧を求めて圧平衡定数に代入する。

# Chapter6　演習問題

問　容積 2.0L の密閉容器に $H_2$ と $I_2$ を 1.5mol ずつ入れて，ある温度に保ったところ平衡状態になった。

$$H_2+I_2\rightleftarrows 2HI$$

平衡状態での HI の物質量は何 mol か。

ただし，この温度における平衡定数は 64 とする。

# 第 8 講　PART1　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　4.0L の容器に $H_2$ 2.0 mol と $I_2$ 2.0 mol を入れ，ある温度で一定に保ったところ，HI が 2.4 mol 生成して平衡状態となった。

$$H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI$$

この温度における平衡定数 $K_c$ として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 2.4　　② 9.0
③ 15　　④ 36

(2)　化学反応 $x$A + $y$B ⇄ $z$C（A・B・C は気体）が平衡状態にあるとき，各気体の分圧と圧平衡定数 $K_p$ の関係を表した式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，A・B・C の分圧はそれぞれ $P_A$・$P_B$・$P_C$ とする。

① $K_p = \dfrac{(P_C)^z}{(P_A)^x(P_B)^y}$　　② $K_p = \dfrac{(P_A)^x(P_B)^y}{(P_C)^z}$

③ $K_p = \dfrac{z(P_C)}{x(P_A)+y(P_B)}$　　④ $K_p = \dfrac{x(P_A)+y(P_B)}{z(P_C)}$

(3)　化学反応 $x$A + $y$B ⇄ $z$C（A・B・C は気体）が平衡状態にあるとき，平衡定数 $K_c$ と圧平衡定数 $K_p$ の関係を表した式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，反応温度を $T$，気体定数を $R$ とする。

① $K_c = K_p(RT)^{(x+y+z)}$　　② $K_c = K_p(RT)^{-(x+y+z)}$
③ $K_c = K_p(RT)^{(x+y-z)}$　　④ $K_c = K_p(RT)^{z-(x+y)}$

## < Note >

# PART2　ルシャトリエの原理

目標　・ルシャトリエの原理を理解し，どちらに平衡移動するか判断できるようになろう！

## Chapter1　ルシャトリエの原理

要点

ルシャトリエの原理

化学反応が平衡状態にあるとき，平衡を支配する因子（温度・濃度・圧力）を変化させると，その影響を緩和する方向へ平衡が移動する。

### ◆ 平衡移動　重要

化学反応が平衡状態にあるとき，条件を変えると，正反応もしくは逆反応が進行し，新しい平衡状態になることが多い。これを**平衡移動**という。

### ◆ ルシャトリエの原理　重要

平衡移動と条件の間には，以下に示す**ルシャトリエの原理**（または平衡移動の原理）が成立する。

「化学反応が平衡状態にあるとき，平衡を支配する因子（温度・濃度・圧力）を変化させると，その影響を緩和する方向へ平衡が移動する」

温度・濃度・圧力以外の条件では平衡移動は起こらないことに気をつけよう。

例　触媒を加える

触媒を加えると活性化エネルギーが低くなり，反応速度は大きくなる。しかし，活性化エネルギーは平衡移動の条件ではないため，平衡は移動しない。

まとめ

・ルシャトリエの原理

化学反応が平衡状態にあるとき，（　　　　）・（　　　　）・（　　　　）を変化させると，その影響を緩和する方向へ平衡が移動する。

# Chapter2　温度変化と平衡移動

要点

温度変化と平衡移動

温度を上げる → 吸熱方向へ平衡移動

温度を下げる → 発熱方向へ平衡移動

## ◆ 温度変化と平衡移動　重要

ルシャトリエの原理を使って，温度変化と平衡移動の関係を考えてみよう。

温度を上げる

温度を上げると，その影響を緩和する方向，すなわち温度が下がる方向（吸熱方向）に平衡が移動する。

例題

次の反応が平衡状態にあるとき，温度を上げた（その他の条件は不変）。

平衡は「右向き」「左向き」のどちらに移動するか。

$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$

---

考え方

温度を上げると吸熱方向に平衡が移動する。この反応は右向きが発熱であるため，吸熱方向は左向きである。

温度を下げる

温度を下げると，その影響を緩和する方向，すなわち温度が上がる方向（発熱方向）に平衡が移動する。

例題

次の反応が平衡状態にあるとき，温度を下げた（その他の条件は不変）。

$NO_2$ は増加するか，減少するか。

$N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2 \quad \Delta H = 57\text{kJ}$

---

**考え方**

温度を下げると発熱方向に平衡が移動する。この反応は右向きが吸熱であるため，発熱方向は左向きである。よって，$NO_2$ は減少する。

**まとめ**

・平衡が移動する方向

温度を上げる →（　　　　）方向

温度を下げる →（　　　　）方向

# Chapter3　濃度変化と平衡移動

**要点**

濃度変化と平衡移動

物質 A の濃度を上げる → 物質 A が減少する方向へ平衡移動

物質 A の濃度を下げる → 物質 A が増加する方向へ平衡移動

## ◆ 濃度変化と平衡移動　重要

ルシャトリエの原理を使って，濃度変化と平衡移動の関係を考えてみよう。

物質 A の濃度を上げる

ある特定の物質（以下，物質 A とする）の濃度を上げると，その影響を緩和する方向，すなわち物質 A が減少する方向に平衡が移動する。

**例題**

次の反応が平衡状態にあるとき，$N_2$ を加えた（その他の条件は不変）。

平衡は「右向き」「左向き」のどちらに移動するか。

$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$

---

**考え方**

$N_2$ の濃度を上げたことになるので，$N_2$ が減少する方向に平衡が移動する。すなわち右向きである。

物質 A の濃度を下げる

物質 A の濃度を下げると，その影響を緩和する方向，すなわち物質 A が増加する方向に平衡が移動する。

**例題**

次の反応が平衡状態にあるとき，塩化水素を中和点に達しない程度に加えた（その他の条件は不変）。

平衡は「右向き」「左向き」のどちらに移動するか。

$NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^+ + OH^-$

---

**考え方**

塩化水素が電離して生じた $H^+$ と $OH^-$ が反応するため，$OH^-$ の濃度を下げたことになる。よって，$OH^-$ が増加する方向，すなわち右向きに平衡が移動する。

**まとめ**

・平衡が移動する方向

物質 A の濃度を上げる → 物質 A が（　　　　　　　）方向

物質 A の濃度を下げる → 物質 A が（　　　　　　　）方向

# Chapter4　圧力変化と平衡移動

**要点**

圧力変化と平衡移動

気体反応において

圧力を上げる → 物質量が減少する方向へ平衡移動

圧力を下げる → 物質量が増加する方向へ平衡移動

## ◆ 圧力変化と平衡移動 重要

ルシャトリエの原理を使って，気体の反応における圧力変化と平衡移動の関係を考えてみよう。

圧力を上げる

気体反応において，圧力を上げると，その影響を緩和する方向，すなわち圧力が下がる方向に平衡が移動する。圧力が下がる方向とは，気体の物質量が減少する方向である。

**例題**

次の反応が平衡状態にあるとき，圧力を上げた（その他の条件は不変）。平衡は「右向き」「左向き」のどちらに移動するか。

$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$

---

**考え方**

圧力を上げると物質量が減少する方向に平衡が移動する。左辺の係数の和は４，右辺の係数の和は２であるため，物質量が減少する方向は右向きである。

圧力を下げる

気体反応において，圧力を下げると，その影響を緩和する方向，すなわち圧力が上がる方向に平衡が移動する。圧力が上がる方向とは，気体の物質量が増加する方向である。

**例題**

次の反応が平衡状態にあるとき，圧力を下げた（その他の条件は不変）。平衡は「右向き」「左向き」のどちらに移動するか。

$C$(固) + $H_2O$(気) $\rightleftarrows$ $H_2$(気) + $CO$(気)

---

**考え方**

圧力を下げると物質量が増加する方向に平衡が移動する。両辺とも係数の和が２であるため，平衡は移動しないよう思えるが注意が必要である。「C(固)」は固体なので，圧力には関与しない。そのため，左辺の係数の和は１と考える。よって，物質量が増加する方向は右向きである。

**まとめ**

・平衡が移動する方向

圧力を上げる → 物質量が（　　　　　　　）方向

圧力を下げる → 物質量が（　　　　　　　）方向

# Chapter5　演習問題

**問**　次の反応が平衡状態になっているとき，次の（　　）内の操作をおこなうと，平衡はどちらに移動するか。「右向き」「左向き」「移動しない」のいずれかで答えよ。ただし，（　　）内の操作以外の条件は変えていないものとする。

(1)　$2SO_2$(気) ＋ $O_2$(気) $\rightleftarrows$ $2SO_3$(気)　$\Delta H = -197\,\text{kJ}$（温度を上げる）

(2)　C(固) ＋ $H_2O$(気) $\rightleftarrows$ $H_2$(気) ＋ CO(気)　（C(固)を少量加える）

(3)　$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$　（体積一定で Ne を加える）

(4)　$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$　（圧力一定で Ne を加える）

# 第 8 講 PART2 確認問題

問 1 次の(1)～(7)の反応が平衡状態になっているとき，(　　) 内の操作をおこなうと，平衡はどちらに移動するか。最も適当なものを，それぞれ後の①～③のうちから一つ選べ。ただし，(　　) 内の操作以外の条件は変えていないものとする。

(1) $N_2O_4 \rightleftarrows 2NO_2$　　$\Delta H = 57\text{kJ}$　　(温度を上げる)
① 右向き　② 左向き
③ 移動しない

(2) $H_2 + I_2 \rightleftarrows 2HI$　　(HI を加える)
① 右向き　② 左向き
③ 移動しない

(3) $NH_3 + H_2O \rightleftarrows NH_4^{+} + OH^{-}$　　(NaOH を加える)
① 右向き　② 左向き
③ 移動しない

(4) $2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$(気)　　(加圧する)
① 右向き　② 左向き
③ 移動しない

(5) $2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$(気)　　(体積一定で Ar を加える)
① 右向き　② 左向き
③ 移動しない

(6) $2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$(気)　　(圧力一定で Ar を加える)
① 右向き　② 左向き
③ 移動しない

(7) $2SO_2 + O_2 \rightleftarrows 2SO_3$(気)　（触媒を加える）

① 右向き　② 左向き

③ 移動しない

# PART3　工業的製法とルシャトリエの原理

目標　・ルシャトリエの原理を利用した工業的製法に触れてみよう！

## Chapter1　アンモニアの工業的製法

要点

アンモニアの工業的製法

ハーバー・ボッシュ法

$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$

$NH_3$ の生成率を大きくするために，温度を低く，圧力を高く設定している。

### ◆ アンモニアの工業的製法　重要

ルシャトリエの原理は工業的製法にも利用されている。その代表的な 1 つがアンモニアの工業的製法，ハーバー・ボッシュ法である。

ハーバー・ボッシュ法では四酸化三鉄 $Fe_3O_4$ を主成分とする触媒を用いて，$N_2$ と $H_2$ から $NH_3$ を合成する。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$$

### ◆ ハーバー・ボッシュ法とルシャトリエの原理　重要

ルシャトリエの原理を利用し，ハーバー・ボッシュ法における温度と圧力はどのように設定するとよいか，考えてみよう。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$$

**温度**

ハーバー・ボッシュ法は正反応が発熱反応であるため，ルシャトリエの原理より，温度が低いほど $NH_3$ の生成率は高くなる。

しかし，温度が低すぎると反応速度が小さくなり，平衡状態に達するまでの時間がかかるため，実際には 400 ～ 600℃に設定されている。

**圧力**

ハーバー・ボッシュ法は正反応が物質量減少方向であるため，ルシャトリエの原理より，圧力が高いほど$NH_3$の生成率は高くなる。

しかし，圧力が高すぎると，その圧力に耐えられる設備が必要になり経費がかかるため，実際には$1 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$Pa に設定されている。

**まとめ**

・ハーバー・ボッシュ法（$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92$kJ）

ルシャトリエの原理より，温度は（　　　），圧力は（　　　）ほど，$NH_3$の生成率が高くなる。

## Chapter2　グラフから読み取る問題①

**要点**

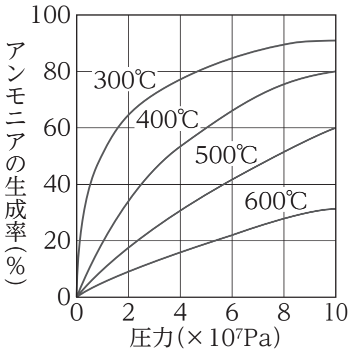
**圧力と生成率・温度と生成率の関係**

与えられたグラフから「圧力と生成率」「温度と生成率」の関係を読み取る。

### ◆ 圧力と生成率・温度と生成率の関係 重要

目的物質の生成率をグラフで与えられた場合には，「圧力と生成率」「温度と生成率」の関係をしっかりと読み取ろう。

**例** ハーバー・ボッシュ法において，温度を一定に保ち，圧力の変化と$NH_3$の生成率の関係を調べたところ，右のようなグラフになった。




**圧力と生成率の関係**

グラフより，圧力が高くなるほど$NH_3$の生成率が高くなっていることがわかる。

ルシャトリエの原理より，圧力を高くすると物質量減少方向に平衡が移動する。

以上より，この反応は正反応が物質量減少方向とわかる。

**温度と生成率の関係**

グラフより，温度が高くなるほど$NH_3$の生成率が低くなっていることがわかる。

ルシャトリエの原理より，温度を高くすると吸熱方向に平衡が移動する。

以上より，この反応は正反応が発熱反応とわかる。

まとめ

・目的物質の生成率をグラフで与えられたときは，

「(　　　　　)と生成率」「(　　　　　)と生成率」の関係を読み取る。

# Chapter3　グラフから読み取る問題②

要点

反応時間と生成率の関係

「反応時間と生成率」の関係をグラフで与えられたときは，平衡移動だけでなく反応速度も考える。

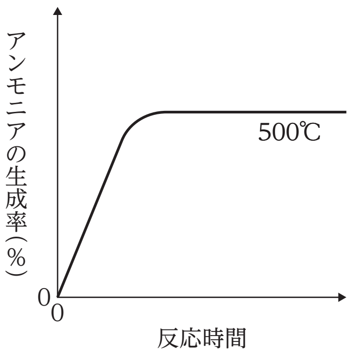
## ◆ 反応時間と生成率の関係　重要

目的物質の生成率をグラフで，「反応時間と生成率」の関係を与えられた場合は，平衡移動だけでなく反応速度も考える必要がある。

**例** ハーバー・ボッシュ法において，温度を500℃に保ち，反応時間と$NH_3$の生成率の関係を調べたところ，右のようなグラフになった。

300℃でおこなうとどのようなグラフになるか，概略を書き込んでみよう。

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \quad \Delta H = -92\text{kJ}$$




**平衡移動（温度と生成率の関係）**

ルシャトリエの原理より，温度を低くすると発熱方向に平衡が移動する。

この反応は正反応が発熱反応であるため，300℃にすると$NH_3$の生成率が高くなる。

**反応速度**

温度を下げると反応速度が小さくなる。

よって，平衡に達するまでの時間は500℃に比べ長くなる。

ちなみに，触媒を使うと，平衡は移動しないが反応速度は大きくなる。そのため，平衡に達するまでの時間は短くなるが，$NH_3$ の生成率は変化しないことに気をつけよう。

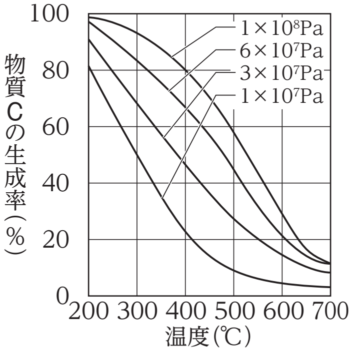
まとめ

・「反応時間と生成率」の関係のグラフを与えられたときは，
（　　　　　　）だけでなく（　　　　　　）も考える。

## Chapter4　演習問題

**問**　圧力一定のもとで以下の反応をおこない，温度と物質Cの生成率の関係を調べたところ，右のようなグラフになった。

$x\mathrm{A} + y\mathrm{B} \rightleftarrows z\mathrm{C}$




(1)　この反応は発熱反応か，吸熱反応か。

(2)　係数 $x$・$y$・$z$ の関係として適切なものを選べ。

①　$x + y = z$　　②　$x + y < z$　　③　$x + y > z$

# 第 8 講　PART3　確認問題

問 1　アンモニアの工業的製法として，ハーバー・ボッシュ法という方法がある。ハーバー・ボッシュ法では，(　ア　)を主成分とする触媒を用いて，$N_2$ と $H_2$ から $NH_3$ を合成する。

$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 \qquad \Delta H = -92\text{kJ}$

ハーバー・ボッシュ法ではルシャトリエの原理を利用し，温度を(　イ　)，圧力を(　ウ　)設定して $NH_3$ の生成率を高めている。ただ，反応速度や設備の経費の観点から，実際には(a)温度は 400 ~ 600℃に，圧力は $1 \times 10^7 \sim 3 \times 10^7$Pa に設定されている。

(1)　文中の(　ア　)に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①~④のうちから一つ選べ。

① 酸化バナジウム（V）　　② 白金

③ 二酸化マンガン　　④ 四酸化三鉄

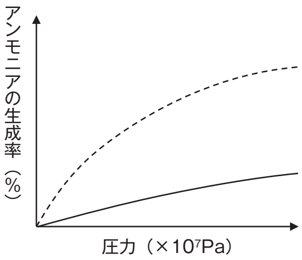
(2)　文中の(　イ　)，(　ウ　)に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①~④のうちから一つ選べ。

① イ：高く　ウ：高く　　② イ：高く　ウ：低く

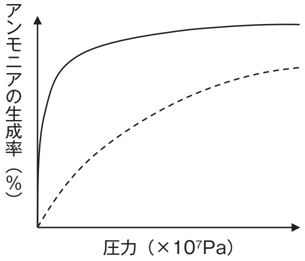
③ イ：低く　ウ：高く　　④ イ：低く　ウ：低く

(3)　文中の下線部(a)について，400℃における「圧力と $NH_3$ の生成率」の関係と，600℃における「圧力と $NH_3$ の生成率」の関係を表したグラフとして適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。ただし，点線は 400℃におけるグラフを，実線は 600℃におけるグラフを表しているものとする。

a



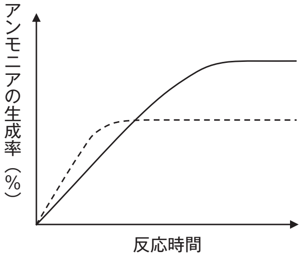

b



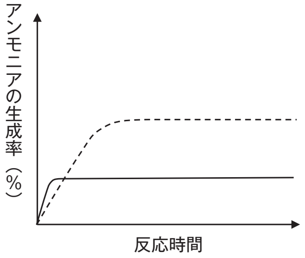

① a　　② b

(4) ハーバー・ボッシュ法において，触媒を加えない場合の「反応時間と $NH_3$ の生成率」の関係と，触媒を加えた場合の「反応時間と $NH_3$ の生成率」の関係を表したグラフとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。ただし，点線は触媒なしのグラフを，実線は触媒ありのグラフを表しているものとする。

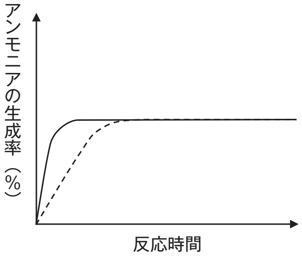
a




b




c




① a　　② b

③ c

# PART4　水のイオン積・強酸強塩基のpH

目標　・水のイオン積を理解し，強酸強塩基の pH の求め方を復習しておこう！

## Chapter1　水のイオン積$K_w$

要点

水のイオン積 $K_w$

$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$

$K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}(mol^2/L^2)$ 〈25℃のとき〉

### ◆ 水のイオン積$K_w$ 重要

水はわずかに電離し，次のような電離平衡が成立している。

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

平衡定数は以下のように表すことができる。

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

ただし，$[H_2O]$ は非常に大きく一定とみなすことができる。

$$K[H_2O] = K_w = [H^+][OH^-]$$

この $K_w$ を**水のイオン積**という。

### ◆ 温度と水のイオン積$K_w$ 重要

水のイオン積 $K_w$ は平衡定数であるため，温度が変わらない限り一定である。

25℃では次のようになる。

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}(mol^2/L^2)$$ 〈25℃のとき〉

また，水の電離は吸熱反応であるため，ルシャトリエの原理より温度が上がると電離が進む方向に平衡が移動する。

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^- \qquad \Delta H = 56.5kJ$$

よって，温度が上がると水のイオン積 $K_w$ は大きくなる。

まとめ

・水のイオン積 $K_w$ =（　　　　　　　）は，温度が変わらない限り一定の値となり，25℃では（　　　　　　　）($mol^2/L^2$) である。

# Chapter2　電離度と酸・塩基の強弱

要点

電離度と酸・塩基の強弱

$$電離度\alpha = \frac{電離している酸・塩基}{溶解している酸・塩基}$$

$\alpha = 1$ ：強酸・強塩基

$\alpha \ll 1$ ：弱酸・弱塩基

## ◆ 電離度と酸・塩基の強弱

電離度とは「溶解している酸・塩基に対する，電離している酸・塩基の割合」を表す数値である。

$$電離度\alpha = \frac{電離している酸・塩基}{溶解している酸・塩基}$$

**強酸・強塩基**

水溶液中でほとんど全てが電離している，すなわち電離度 $\alpha = 1$ の酸や塩基を強酸・強塩基という。

**例** 強酸（$H_2SO_4$・HCl・$HNO_3$）・強塩基（KOH・NaOH・$Ba(OH)_2$・$Ca(OH)_2$）

ほとんど全てが電離するため，電離の式は不可逆で表す。

**例** $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$

**弱酸・弱塩基**

水溶液中で一部しか電離しない，すなわち電離度 $\alpha \ll 1$ の酸や塩基を弱酸・弱塩基という。（基本的に，強酸・強塩基以外は弱酸・弱塩基と考えてよい。）

一部しか電離しておらず，化合物とイオンが共存し平衡状態となっているため，電離の式は可逆で表す。

**例** $CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COO^- + H^+$

このような電離による化学平衡を**電離平衡**とよび，平衡定数（電離定数）を用いて考えていく。

まとめ

・電離度 $\alpha = 1$ の酸・塩基を（　　　　　　　　）といい，電離は（　　　　　）で表す。

・それに対して，$\alpha \ll 1$ の酸や塩基を (　　　　　　　　) といい，電離は (　　　　　) で表す。

# Chapter3　強酸・強塩基のpH

要点

強酸・強塩基のpH

強酸：$pH = -\log[H^+]$　$[H^+] = [\text{酸}] \times \text{価数} \times \alpha$

強塩基：$pOH = -\log[OH^-]$　$[OH^-] = [\text{塩基}] \times \text{価数} \times \alpha$

（pH は，pH ＋ pOH ＝ 14 を利用して求める。）

## ◆ pH（水素イオン指数）

pH（水素イオン指数）とは水溶液の酸性・塩基性の程度を表す数値である。

$\mathbf{pH = -\log_{10}[H^+]}$

$[H^+] = a \times 10^{-b}$ mol/L のとき，$\mathbf{pH = b - \log_{10} a}$

## ◆ 強酸・強塩基のpH

強酸・強塩基の pH は以下のように導くことができる。対数計算に不安がある人はしっかりと練習しておこう。（化学の pH 計算では $\log_{10}X$ の底数 10 を省略して $\log X$ と表すことが多い）

**強酸**

$pH = -\log[H^+]$　$[H^+] = [\text{酸}] \times \text{価数} \times \alpha$

**例題**

0.020mol/L の塩酸の pH はいくらか。ただし，log2=0.30 とする。

---

**考え方**

塩酸は 1 価の強酸であるため，以下のようになる。

$[H^+] = 0.020 \times 1 \times 1 = 2.0 \times 10^{-2}$ (mol/L)

pH $= -\log(2.0 \times 10^{-2}) = 2 - \log 2 = 2 - 0.30 = 1.70$

pH = 1.7

**強塩基**

pOH $= -\log[OH^-]$　$[OH^-]$ = [ 塩基 ] ×価数× $\alpha$

**例題**

0.020mol/L の水酸化ナトリウム水溶液の pH はいくらか。

ただし，log2 = 0.30，水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$(mol²/L²) とする。

---

**考え方**

水酸化ナトリウムは 1 価の強塩基であるため，以下のようになる。

$[OH^-] = 0.020 \times 1 \times 1 = 2.0 \times 10^{-2}$ (mol/L)

pOH $= -\log(2.0 \times 10^{-2}) = 2 - \log 2 = 2 - 0.30 = 1.70$

pH $= 14 - 1.70 = 12.30$

pH = 12.3

**まとめ**

・強酸・強塩基の pH

強酸：　pH =（　　　　　）　　$[H^+]$ =（　　　　　）

強塩基：pOH =（　　　　　）　　$[OH^-]$ =（　　　　　）

# Chapter4　演習問題

問　0.025mol/L の水酸化バリウム水溶液の pH はいくらか。小数第 1 位まで求めよ。

ただし，log2 = 0.30，水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$(mol²/L²) とする。

# 第 8 講　PART4　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　水のイオン積 $K_w$ は温度が変わらない限り一定であるが，$K_w = 1.0 \times 10^{-14} (mol^2/L^2)$ となるのは何℃のときか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 5℃　② 15℃
③ 25℃　④ 35℃

(2)　水のイオン積 $K_w$ は温度が上がるとどのようになるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 大きくなる　② 小さくなる
③ 変わらない

(3)　次の①～④のうち，電離度 $\alpha \ll 1$ である酸または塩基はどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① 硝酸　② アンモニア
③ 塩酸　④ 水酸化カルシウム

(4)　0.020mol/L の硫酸の pH はいくらか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，$\log 2 = 0.30$ とする。

① 1.1　② 1.4
③ 1.7　④ 2.0

(5) 0.040mol/L の水酸化カリウム水溶液の pH はいくらか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，$\log 2 = 0.30$，水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}(\mathrm{mol^2/L^2})$ とする。

① 12.0　　② 12.3

③ 12.6　　④ 12.9

# PART5　弱酸・弱塩基の電離平衡

目標　・電離定数を使って，弱酸や弱塩基の pH を求められるようになろう！

## Chapter1　電離定数

要点

電離定数

弱酸　：$HX \rightleftarrows H^+ + X^-$　　$K_a = \dfrac{[H^+][X^-]}{[HX]}$

弱塩基：$YOH \rightleftarrows Y^+ + OH^-$　　$K_b = \dfrac{[Y^+][OH^-]}{[YOH]}$

### ◆ 弱酸の電離定数 $K_a$ 　重要

弱酸は電離度 $\alpha$ が小さいため，電離が平衡状態になる。このような電離による化学平衡を**電離平衡**という。

$$HX \rightleftarrows H^+ + X^-$$

この反応の平衡定数は以下のように表すことができ，この平衡定数を**酸の電離定数** $K_a$ という。

$$K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]}$$

### ◆ 弱塩基の電離定数 $K_b$ 　重要

弱塩基も電離度 $\alpha$ が小さいため，電離平衡の状態になる。

$$YOH \rightleftarrows Y^+ + OH^-$$

この反応の平衡定数は以下のように表すことができ，この平衡定数を**塩基の電離定数** $K_b$ という。

$$K_b = \frac{[Y^+][OH^-]}{[YOH]}$$

電離定数は平衡定数であるため，温度が変化しない限り一定である。

まとめ

・弱酸（　　　　　　　　）の電離定数は以下のようになる。

$K_a$ ＝（　　　　　　）

# Chapter2　弱酸のpH

要点

弱酸の pH

$\alpha = \sqrt{\dfrac{K_a}{c}}$　　$[H^+] = \sqrt{cK_a}$　　（$c$：初期濃度）

## ◆ 弱酸のpH　重要

弱酸 HX の初期濃度を cmol/L，電離度を α として電離定数 $K_a$ を考えてみよう。

| | HX | ⇄ | $H^+$ | ＋ | $X^-$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 反応前 | $c$ | | 0 | | 0 | |
| 反応量 | $-c\alpha$ | | $+c\alpha$ | | $+c\alpha$ | |
| 平衡後 | $c(1-\alpha)$ | | $c\alpha$ | | $c\alpha$ | (mol/L) |

平衡後のデータを電離定数 $K_a$ に代入すると以下のようになる。

$$K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]} = \frac{c\alpha \cdot c\alpha}{c(1-\alpha)} = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha}$$

弱酸は通常，電離度 α が 1 に比べて非常に小さい（$\alpha \ll 1$）ため，$1-\alpha \fallingdotseq 1$ とみなすことができる。

$$K_a = \frac{c\alpha^2}{1-\alpha} \fallingdotseq c\alpha^2$$

以上より，$\alpha = \sqrt{\dfrac{K_a}{c}}$ と導くことができる。

さらに，この α を $[H^+] = c\alpha$ に代入すると，$[H^+] = \sqrt{cK_a}$ となる。

まとめ

・弱酸の初期濃度を cmol/L，電離度を α，電離定数を $K_a$ とすると，次のように表すことができる。

α ＝（　　　　），$[H^+]$ ＝（　　　　　）

# Chapter3　弱塩基のpH

要点

弱塩基の pH

$\alpha = \sqrt{\dfrac{K_b}{c}}$　　$[OH^-] = \sqrt{cK_b}$　　（$c$：初期濃度）

## ◆ 弱塩基のpH

弱塩基 YOH の初期濃度を $c$mol/L，電離度を $\alpha$，電離定数を $K_b$ とすると以下のように表すことができる。

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{c}} \qquad [OH^-] = \sqrt{cK_b}$$

弱酸の公式の $K_a$ を $K_b$ に，$[H^+]$ を $[OH^-]$ に変えるだけでよい。

弱酸の公式をしっかりと押さえておこう。

まとめ

・弱塩基の初期濃度を $c$mol/L，電離度を $\alpha$，電離定数を $K_b$ とすると，次のように表すことができる。

$\alpha$ =（　　　　），$[OH^-]$ =（　　　　）

# Chapter4　演習問題

問 (1)　0.10mol/L の酢酸水溶液の pH を有効数字 2 桁で求めよ。ただし，電離度 $\alpha$ は 1 に比べて非常に小さいとする。また，酢酸の電離定数は $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$ mol/L，log2.7 = 0.43 とする。

(2)　0.20mol/L のアンモニア水の pH を有効数字 2 桁で求めよ。ただし，電離度 $\alpha$ は 1 に比べて非常に小さいとする。また，アンモニアの電離定数は $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$mol/L，log2 = 0.30 とする。

< Note >

# 第8講 PART5 確認問題

問1 酢酸の電離定数を $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L とすると，3.0mol/L の酢酸水溶液の pH は（ ア ），電離度は（ イ ）となる。

一方，アンモニアの電離定数を $K_b = 2.0 \times 10^{-5}$mol/L とすると，0.80mol/L のアンモニア水の pH は（ ウ ），電離度は（ エ ）となる。

(1) 文中の（ ア ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，log3 = 0.48 とする。

① 1.0　② 1.5
③ 2.0　④ 2.5

(2) 文中の（ イ ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $1.0 \times 10^{-3}$　② $3.0 \times 10^{-3}$
③ $6.0 \times 10^{-3}$　④ $9.0 \times 10^{-3}$

(3) 文中の（ ウ ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，log2 = 0.30 とする。

① 10.3　② 10.6
③ 11.3　④ 11.6

(4) 文中の（ エ ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $2.5 \times 10^{-3}$　② $5.0 \times 10^{-3}$
③ $7.5 \times 10^{-3}$　④ $1.0 \times 10^{-2}$

## < Note >

# PART6　緩衝液・塩の加水分解

目標　・緩衝液とは何か，塩の加水分解とは何かを理解しよう！

## Chapter1　緩衝液

要点

緩衝液

弱酸とその塩の混合水溶液，または弱塩基とその塩の混合水溶液。

### ◆ 緩衝液　重要

弱酸とその塩の混合水溶液，または弱塩基とその塩の混合水溶液を**緩衝液**という。

例　酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液，アンモニアと塩化アンモニウムの混合水溶液

弱酸や弱塩基に強塩基（強酸）を滴下する中和滴定において，中和点より前が緩衝液の状態である。

### ◆ 緩衝作用　重要

緩衝液に少量の酸や塩基を加えても，pH はほぼ一定に保たれる。このようなはたらきを**緩衝作用**という。

例　酢酸と酢酸ナトリウムの混合水溶液

$$CH_3COOH \rightleftarrows CH_3COO^- + H^+ \cdots(1)$$

$$CH_3COONa \rightarrow CH_3COO^- + Na^+ \cdots(2)$$

少量の酸 ($H^+$) を加える

(1)式の平衡が左に移動するため，溶液中の $H^+$ は増加しない。

$$CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$$

少量の塩基 ($OH^-$) を加える

(1)式の $CH_3COOH$ と反応して $H_2O$ に変化するため，溶液中の $OH^-$ は増加しない。

$$CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$$

以上より，酸を加えても塩基を加えても pH はほぼ一定に保たれる。

まとめ

・弱酸とその塩，もしくは弱塩基とその塩の混合水溶液を（　　　　　）という。
緩衝液に少量の酸や塩基を加えても pH はほぼ一定に保たれる。このようなはたらきを（　　　　　）という。

## Chapter2　緩衝液のpH

要点

緩衝液（弱酸とその塩の混合水溶液）の pH

$[H^+] = K_a \times \frac{c_a}{c_s}$　（$c_a$：弱酸の初期濃度 mol/L，$c_s$：塩の初期濃度 mol/L）

### ◆ 緩衝液のpH

弱酸 HX の初期濃度を $c_a$ mol/L，電離する濃度を $x$ mol/L，弱酸のナトリウム塩 NaX の初期濃度を $c_s$ mol/L として考えてみよう。

$$\mathrm{NaX} \rightarrow \mathrm{Na^+} + \mathrm{X^-}$$
$$(c_s) \qquad c_s \qquad c_s$$
$$\mathrm{HX} \rightleftarrows \mathrm{H^+} + \mathrm{X^-}$$
$$c_a - x \qquad x \qquad x \qquad \text{(mol/L)}$$

**1・成立する近似**

NaX はイオン結合の物質で，水中で完全に電離。

→ 水中には $X^-$ イオンが多数存在。

→ HX の電離平衡は電離が抑制される方向に移動（$x$ は非常に小さい）。

→ 以下の近似が成立。

$[X^-] = c_s + x \fallingdotseq c_s$，$[HX] = c_a - x \fallingdotseq c_a$

**2・緩衝液の pH**

弱酸 HX の電離定数 $K_a$ を変形すると，$[H^+]$ は以下のように表すことができる。

$$K_a = \frac{[H^+][X^-]}{[HX]} \quad \rightarrow \quad [H^+] = K_a \times \frac{[HX]}{[X^-]} \quad \cdots(1)$$

(1)式に，１で導いた近似（$[X^-] \fallingdotseq c_s$，$[HX] \fallingdotseq c_a$）を代入する。

$$[H^+] = K_a \times \frac{[HX]}{[X^-]} \fallingdotseq K_a \times \frac{c_a}{c_s} \quad \cdots(2)$$

(2)式により導いた $[H^+]$ を $pH = -\log[H^+]$ に代入して pH を求めることができる。

**まとめ**

・弱酸 HX の初期濃度を $c_a$ mol/L，弱酸のナトリウム塩 NaX の初期濃度を $c_s$ mol/L とすると，HX と NaX の混合溶液（緩衝液）の $[H^+]$ は以下のように表すことができる。

$[H^+] = ($　　　　　　$)$

# Chapter3　塩の加水分解

**要点**

塩の加水分解

弱酸 HX 由来の塩　　：$X^- + H_2O \rightleftarrows HX + OH^-$

弱塩基 YOH 由来の塩：$Y^+ + H_2O \rightleftarrows YOH + H^+$

## ◆ 塩の加水分解 重要

弱酸や弱塩基由来の塩は，水中で加水分解を起こす。そのため，化学式の見た目からは判断できない液性を示す。

弱酸由来のナトリウム塩，弱塩基由来の塩化物を例に考えてみよう。

弱酸 HX 由来のナトリウム塩（NaX）

・塩は水中で完全に電離する。

$NaX \rightarrow Na^+ + X^-$

・弱酸由来のイオン $X^-$ が加水分解を起こす。

$X^- + H_2O \rightleftarrows HX + OH^-$

この反応により，わずかに $OH^-$ が生じるため弱塩基性を示す。

**例** $CH_3COONa$（弱塩基性）

$CH_3COONa \rightarrow CH_3COO^- + Na^+$

$CH_3COO^- + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + OH^-$

弱塩基 YOH 由来の塩化物（YCl）

・塩は水中で完全に電離する。

$YCl \rightarrow Y^{+} + Cl^{-}$

・弱塩基由来のイオン $Y^{+}$ が加水分解を起こす。

$Y^{+} + H_2O \rightleftarrows YOH + H^{+}$

この反応により，わずかに $H^{+}$ が生じるため弱酸性を示す。

**例** $NH_4Cl$（弱酸性）

$NH_4Cl \rightarrow NH_4^{+} + Cl^{-}$

$NH_4^{+} + H_2O \rightleftarrows NH_3 + H_3O^{+}$

**まとめ**

・（　　　　　）由来の塩，（　　　　　　）由来の塩は水中で加水分解を起こす。

# Chapter4　塩の水溶液のpH

**要点**

弱酸由来の塩のpH

$$[OH^{-}] = \sqrt{\frac{cK_w}{K_a}} \quad (c：塩の濃度)$$

## ◆ 弱酸由来の塩のpH

cmol/L の弱酸 HX 由来のナトリウム塩（NaX）の pH の求め方を考えてみよう。

・塩の電離により cmol/L の $X^{-}$ が生じる。

| $NaX$ | $\rightarrow$ | $Na^{+}$ | + | $X^{-}$ |
|---|---|---|---|---|
| $(c)$ | | $c$ | | $c$ |

・弱酸由来のイオン $X^{-}$ が加水分解を起こす。（$h$：加水分解度）

| | $X^{-}$ | + | $H_2O$ | $\rightleftarrows$ | $HX$ | + | $OH^{-}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 反応前 | $c$ | | − | | 0 | | 0 | |
| 変化量 | $-ch$ | | − | | $+ch$ | | $+ch$ | |
| 平衡後 | $c(1-h)$ | | − | | $ch$ | | $ch$ | (mol/L) |

加水分解定数 $K_h$ は以下のように表すことができる。

$$K_h = K[H_2O] = \frac{[HX][OH^-]}{[X^-]} = \frac{ch \cdot ch}{c(1-h)} = \frac{ch^2}{1-h}$$

加水分解度 $h$ は 1 に比べて非常に小さいため，$1 - h \fallingdotseq 1$ と近似できる。

$$K_h = \frac{ch^2}{1-h} = ch^2 \qquad h = \sqrt{\frac{K_h}{c}}$$

以上より，$[OH^-] = \sqrt{cK_h}$ …(1)

また，$K_h$ の分母分子に $[H^+]$ をかけると以下のように変形できる。

$$K_h = \frac{[HX][OH^-]}{[X^-]} \cdot \frac{[H^+]}{[H^+]} = \frac{K_w}{K_a} \quad \cdots(2)$$

(1)式に(2)式を代入する。

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{cK_w}{K_a}}$$

この式より $[OH^-]$ を求め，$pOH = -\log[OH^-]$，$pH + pOH = 14$ より pH を導くことができる。

**まとめ**

・ $c$mol/L の弱酸 HX 由来のナトリウム塩（NaX）の水酸化物イオンのモル濃度は

$[OH^-] =$（　　　　）

# Chapter5　演習問題

**問**　0.10mol の酢酸と 0.10mol の酢酸ナトリウムが混合している水溶液 1.0L がある。この混合溶液の pH を求めよ。

ただし，酢酸の電離定数 $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，$\log 2.7 = 0.43$ とする。

< Note >

# 第 8 講 PART6　確認問題

問 1　弱酸とその塩の混合水溶液に少量の酸を加えると，pH の値は（　ア　）。このようなはたらきを，（　イ　）という。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 大きくなる　　② 小さくなる

③ ほぼ一定に保たれる

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 電離平衡　　② 緩衝作用

③ 加水分解　　④ 共通イオン効果

問 2　次の問いに答えよ。

(1)　0.20mol の酢酸と 0.60mol の酢酸ナトリウムが混合している水溶液 1.0L がある。この混合溶液の pH はいくらか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，酢酸の電離定数 $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，log3 = 0.48 とする。

① 3.1　　② 4.1

③ 5.0　　④ 6.0

(2)　0.27mol/L の酢酸ナトリウム水溶液の pH はいくらか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，酢酸の電離定数 $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，水のイオン積 $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$(mol$^2$/L$^2$) とする。

① 4.0　　② 5.0

③ 9.0　　④ 10

< Note >

# PART7　電離平衡の問題演習

目標　・化学平衡の問題の解法をしっかりと定着させよう！

## Chapter1　弱酸を使った中和滴定とpH

要点

弱酸を使った中和滴定と pH

滴定前：弱酸の電離平衡　$[H^+] = \sqrt{cK_a}$

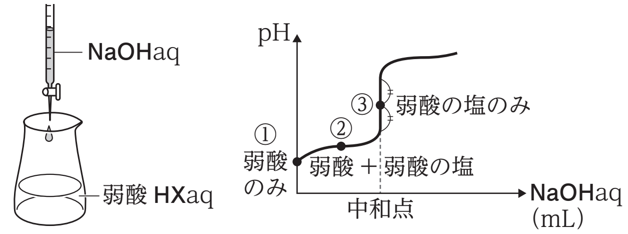
中和点前：緩衝液　$[H^+] = K_a \times \dfrac{c_a}{c_s}$

中和点：塩の加水分解　$[OH^-] = \sqrt{\dfrac{cK_w}{K_a}}$

### ◆ 弱酸を使った中和滴定とpH　重要

弱酸に強塩基を滴下する中和滴定で考えてみよう。

滴定曲線は以下のようになる。




この滴定曲線の中に，平衡状態が 3 つある。その 3 点の pH の出し方を再度確認しておこう。

① **滴定前（弱酸の電離平衡）**

滴定前，コニカルビーカーの中は弱酸のみである。よって，成立しているのは弱酸の電離平衡となる。

$$[H^+] = \sqrt{cK_a} \quad \left(\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{c}}\right)$$

② **中和点前（緩衝液）**

中和点より前は，未反応の弱酸と，反応により生じた弱酸の塩の混合溶液となっている。すなわち緩衝液である。

$$[H^+] = K_a \times \frac{c_a}{c_s}$$

③　**中和点（塩の加水分解）**

中和点では，全ての弱酸が反応により塩に変化し，塩の水溶液となっている。すなわち塩の加水分解が起こっている。

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{cK_w}{K_a}}$$

どの点について問われているのかをしっかり把握し，適切な公式を使えるようになろう！

**まとめ**

・弱酸に強塩基を滴下する中和滴定において，

滴定前：弱酸の電離平衡　$[H^+]$ =（　　　　）

中和点前：緩衝液　$[H^+]$ =（　　　）

中和点：塩の加水分解　$[OH^-]$ =（　　　　　）

## Chapter2　電離平衡の計算問題①

問　0.030mol/L の酢酸水溶液の pH を求めよ。ただし，電離度は 1 に比べて十分小さいものとし，酢酸の電離定数は $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，log3 = 0.48 とする。

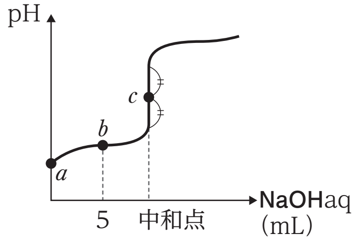
## Chapter3　電離平衡の計算問題②

問　0.20mol/L の酢酸 100mL に 0.20mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を 50mL 加えたとき，溶液の pH はいくらか。ただし，酢酸の電離定数は $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，log2.7 = 0.43 とする。

## Chapter4　電離平衡の計算問題③

問　図は 0.10mol/L の酢酸水溶液 10mL に 0.10mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を滴下したときの滴定曲線である。

以下の問いに答えよ。



ただし，電離度は1に比べて十分小さいものとし，酢酸の電離定数
$K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，$\log 2.7 = 0.43$ とする。

(1) 点aのpHを求めよ。

(2) 点bのpHを求めよ。

(3) 点cでは溶液が塩基性を示す。その理由を化学反応式を用いて説明せよ。

## < Note >

# 第 8 講　PART7　確認問題

問 1　0.27mol/L の酢酸があるとすると，この酢酸の pH は（　ア　）となる。この酢酸 100mL に 0.27mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を 50mL 加えると，溶液の pH は（　イ　）になる。ここからさらに水酸化ナトリウム水溶液を 50mL 加えていくと，溶液は（　ウ　）性を示す。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，酢酸の電離定数 $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，log2.7 = 0.43 とする。

① 2.6　　② 3.4
③ 5.6　　④ 6.4

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，酢酸の電離定数 $K_a = 2.7 \times 10^{-5}$mol/L，log2.7 = 0.43 とする。

① 3.6　　② 4.6
③ 5.6　　④ 6.6

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 酸　　② 塩基
③ 中

## < Note >

# PART8　溶解度積

目標
・溶解平衡とは何かを理解し，溶解度積を使った計算ができるようになろう！

## Chapter1　溶解度積

要点

溶解度積 $K_{sp}$

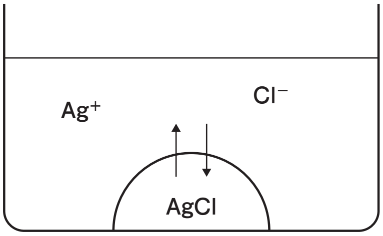
AgCl(固) ⇄ $Ag^+$ + $Cl^-$　$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-]$

### ◆ 溶解度積 $K_{sp}$　重要

難溶性の塩（いわゆる沈殿）は水中でわずかに溶解して溶解平衡の状態になっている。

例　AgCl

AgCl(固) ⇄ $Ag^+$ + $Cl^-$




AgCl の溶解平衡において，平衡定数は次のようになる。

$$K = \frac{[Ag^+][Cl^-]}{[AgCl(固)]}$$

固体は結晶であり濃度は一定なので，[AgCl(固)] を平衡定数 $K$ とまとめて一つの定数とできる。この定数を**溶解度積 $K_{sp}$** という。

$$K[AgCl(固)] = K_{sp} = [Ag^+][Cl^-]$$

溶解度積 $K_{sp}$ は平衡定数であるため，温度が変わらない限り一定の値となる。

### ◆ 溶解度積からわかること　重要

溶解平衡の状態において，溶液は飽和溶液となっている。すなわちイオンが限界の状態で溶解している。

よって，溶解度積 $K_{sp}$ は溶解できる陽イオンと陰イオンの積の限界値と考えることができる。

溶解度積 $K_{sp}$ が限界値であることを利用し，以下のように，沈殿の有無を判断することができる。

実際に加えた陽イオン $X^+$ と陰イオン $Y^-$ の濃度の積を溶解度積 $K_{sp}$ と比較する。

・$[X^+][Y^-] < K_{sp}$ …限界に達していない，すなわち沈殿は無い

・$[X^+][Y^-] = K_{sp}$ …沈殿が生じる瞬間，すなわち沈殿は無い（飽和溶液）

・$[X^+][Y^-] > K_{sp}$ …限界を超えている，すなわち沈殿がある（沈殿＋飽和溶液）

**まとめ**

・溶解度積 $K_{sp}$ を利用した沈殿の有無判定

実際に加えた陽イオン $X^+$ と陰イオン $Y^-$ の濃度の積を $[X^+][Y^-]$ とすると，

・$[X^+][Y^-]$（　　　）$K_{sp}$ …沈殿は無い

・$[X^+][Y^-]$（　　　）$K_{sp}$ …沈殿は無い（飽和溶液）

・$[X^+][Y^-]$（　　　）$K_{sp}$ …沈殿がある（沈殿＋飽和溶液）

## Chapter2　共通イオン効果

**要点**

共通イオン効果

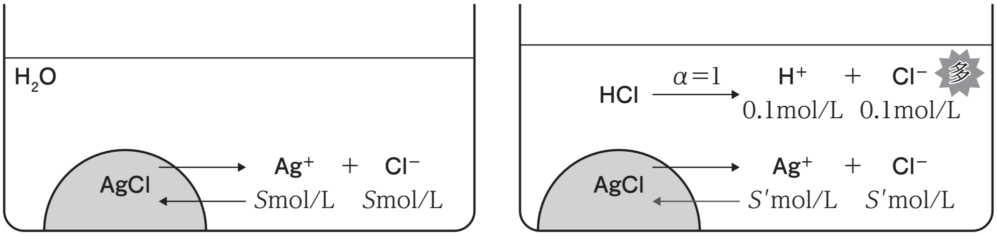
水中で平衡状態が成立しているとき，平衡状態に関係するイオンを加えると，平衡移動により溶解度や電離度が小さくなる現象。

### ◆ 共通イオン効果　重要

水中で平衡状態が成立しているとき，平衡状態に関係するイオンを加えると，平衡移動により溶解度や電離度が小さくなる現象を**共通イオン効果**という。

**例**　AgCl の溶解平衡に 0.10mol/L の塩酸を加える。

AgCl のみが存在しているとき　　　　塩酸を加えたとき



AgCl の溶解平衡 ($S$mol/L が溶解 ) に塩酸を加えると，水中の $Cl^-$が増加するため溶解平衡が移動し，AgCl の溶解が抑制される（$S$mol/L ≫ $S'$ mol/L)。

**まとめ**

・水中で平衡状態が成立しているとき，平衡状態に関係するイオンを加えると，平衡移動により溶解度や電離度が小さくなる。この現象を(　　　　　　　　　)という。

## Chapter3　溶解度積を使った計算

**要点**

溶解度積 $K_{sp}$ を使った計算

係数が 1 でないときに注意する。

### ◆ 溶解度積$K_{sp}$を使った計算　重要

溶解度積 $K_{sp}$ を使った計算では，特に係数が 1 ではない場合に注意が必要である。

**例題**

塩化銀の飽和溶液のモル濃度は $x$mol/L である。このとき，塩化銀の溶解度積 $K_{sp}$ は $x$ を使ってどのように表すことができるか。

---

**考え方**

塩化銀の溶解平衡は以下のように表すことができる。

| AgCl(固) | ⇄ | $Ag^+$ | ＋ | $Cl^-$ |
|---|---|---|---|---|
| $x$mol/L 溶解 | | $x$ | | $x$ |

よって，溶解度積 $K_{sp}$ は以下のようになる。

$$K_{sp} = [Ag^+][Cl^-] = x \cdot x = x^2 \quad \underline{x^2(\text{mol/L})^2}$$

**例題**

クロム酸銀 $Ag_2CrO_4$ の飽和溶液のモル濃度を $y$mol/L とすると，$Ag_2CrO_4$ の溶解度積 $K_{sp}$ は $y$ を使ってどのように表すことができるか。

---

**考え方**

クロム酸銀の溶解平衡は以下のように表すことができる。

$Ag_2CrO_4$(固) $\rightleftarrows$ $2Ag^+$ ＋ $CrO_4^{2-}$

$x$mol/L 溶解　$2y$　$y$

よって，溶解度積 $K_{sp}$ は以下のようになる。

$K_{sp} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}] = (2y)^2(y) = \underline{\underline{4y^3 (mol/L)^3}}$

**まとめ**

・溶解度積 $K_{sp}$ を使った計算では，溶解平衡の係数が（　　　）でないときに注意が必要である。

## Chapter4　演習問題

**問**　(1)　塩化銀の飽和溶液のモル濃度は $1.3 \times 10^{-5}$mol/L である。このとき，塩化銀の溶解度積を求めよ。

(2)　(1)の水溶液に塩化ナトリウムを加えると，塩化銀のモル濃度は $1.3 \times 10^{-5}$mol/L より大きくなるか，小さくなるか。

# 第 8 講　PART8　確認問題

問 1　ある温度における塩化銀 AgCl の溶解度積を

$9.0 \times 10^{-10}$(mol/L)$^2$ とすると，この温度における塩化銀の飽和溶液のモル濃度は（　ア　）mol/L となる。この水溶液に塩化ナトリウム NaCl を加えると，AgCl の溶解が（　イ　）される。このような現象を（　ウ　）という。

一方，この塩化銀の飽和溶液と同じ温度で，$Ag^+$が $2.0 \times 10^{-4}$mol/L，$Cl^-$が $5.0 \times 10^{-6}$mol/L の濃度で溶けた溶液があるとすると，この溶液には沈殿として AgCl が（　エ　）。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $8.1 \times 10^{-19}$　　② $4.5 \times 10^{-10}$

③ $9.0 \times 10^{-10}$　　④ $3.0 \times 10^{-5}$

(2)　文中の（　イ　），（　ウ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① イ：促進　　ウ：緩衝作用

② イ：促進　　ウ：共通イオン効果

③ イ：抑制　　ウ：緩衝作用

④ イ：抑制　　ウ：共通イオン効果

(3)　文中の（　エ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 存在する　　② 存在しない

(4) クロム酸銀 $Ag_2CrO_4$ の飽和溶液のモル濃度を $1.0 \times 10^{-4}$mol/L とすると，$Ag_2CrO_4$ の溶解度積 $K_{sp}$ はいくらか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $1.0 \times 10^{-8}(\text{mol/L})^2$　② $2.0 \times 10^{-8}(\text{mol/L})^2$

③ $1.0 \times 10^{-12}(\text{mol/L})^3$　④ $4.0 \times 10^{-12}(\text{mol/L})^3$

# PART9　溶解度積の応用

目標　・溶解度積の応用に触れてみよう！

## Chapter1　硫化物の沈殿

要点

硫化物の沈殿

pH を調整することで，硫化物の溶解平衡を操作することができる。

### ◆ 硫化物の沈殿　重要

硫化物の溶解平衡は，$H_2S$ の電離平衡を利用することで操作できる。

例　硫化亜鉛 ZnS

$ZnS(固) \rightleftarrows Zn^{2+} + S^{2-}$　…※1

・水中の $S^{2-}$ を増やす。

→ ※1の平衡が左に移動し，ZnS の沈殿は増加。（共通イオン効果）

・水中の $S^{2-}$ を減らす。

→ ※1の平衡が右に移動し，ZnS の沈殿は減少。

このように $S^{2-}$ の量を調整することで，溶解平衡を操作することができる。

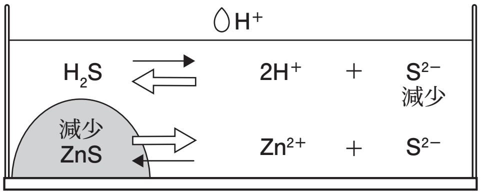
そして，$S^{2-}$ の量は $H_2S$ の電離平衡を利用することで調整できる。

$H_2S \rightleftarrows 2H^+ + S^{2-}$　…※2

・pH を小さくする。（$H^+$ を増やす）

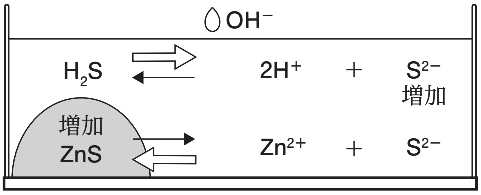
→※2の平衡が左に移動し，$S^{2-}$ が減少。

→※1の平衡が右に移動し，ZnS の沈殿は減少。




・pH を大きくする。（$H^+$ を減らす）

→※2の平衡が右に移動し，$S^{2-}$ が増加。



→※1の平衡が左に移動し，ZnSの沈殿は増加。

実際にZnSはpH 2では完全に溶解し，pH 9では溶解平衡の状態（沈殿が生じる）となる。

まとめ

・硫化物の溶解平衡は，（　　　　）を調整することで操作できる。

# Chapter2　モール法

要点

モール法

クロム酸カリウム$K_2CrO_4$を指示薬として，水中の$Cl^-$を定量する方法。

## ◆ モール法

クロム酸カリウム$K_2CrO_4$を指示薬として水中の$Cl^-$を定量する方法を**モール法**という。

モール法は，AgClと$Ag_2CrO_4$の溶解度積の差を利用し，以下のようにおこなう。

(1)　$Cl^-$を含む試料に，少量の$K_2CrO_4$水溶液を指示薬として加える。

(2)　(1)の溶液に$AgNO_3$水溶液を滴下する。

→溶解度積より，AgClは$Ag_2CrO_4$より少ない量の$Ag^+$で沈殿する。そのため，まずはAgClの白色沈殿が生成。

(3)　$Cl^-$がほぼ完全に沈殿した直後に，$Ag_2CrO_4$の赤褐色沈殿が生じる。

→赤褐色沈殿が生じ始めた点が終点と考えられる。

終点までに加えた$Ag^+$の物質量が，試料中に存在した$Cl^-$の物質量となる。

まとめ

・（　　　　　　　　　　　　）を指示薬として，水中の$Cl^-$を定量する方法をモール法という。

# Chapter3　演習問題

**問**　0.10mol/L の $Zn^{2+}$ が含まれている水溶液の pH を調整し，$S^{2-}$ の濃度を $1.0 \times 10^{-20}$mol/L とした。このとき，ZnS の沈殿は生じているか。
ただし，ZnS の溶解度積は $K_{sp} = 2.2 \times 10^{-18}(\text{mol/L})^2$ とする。

< Note >

# 第 8 講　PART9　確認問題

問 1　硫化物の 1 つである硫化亜鉛 ZnS の溶解平衡は，以下のように表される。

$ZnS$(固) ⇄ $Zn^{2+} + S^{2-}$

水溶液に ZnS が沈殿している場合，pH を小さくすると ZnS の沈殿は（　ア　）し，pH を大きくすると ZnS の沈殿は（　イ　）する。実際，ZnS は pH（　ウ　）では完全に溶解し，pH（　エ　）では溶解平衡の状態となり，沈殿が生じる。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ア：増加　イ：増加　　② ア：増加　イ：減少
③ ア：減少　イ：増加　　④ ア：減少　イ：減少

(2)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 2　　② 9

(3)　文中の（　エ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 2　　② 9

問2　クロム酸カリウム $K_2CrO_4$ を指示薬として，水中の $Cl^-$ を定量する方法をモール法という。モール法では，最初に $Cl^-$ を含む試料に，少量の $K_2CrO_4$ 水溶液を加え，$AgNO_3$ 水溶液を滴下していく。すると，溶解度積の差によって，先に（　ア　）の沈殿が生成し，その後(a)$Ag_2CrO_4$ の沈殿が生じる。モール法では，この $Ag_2CrO_4$ の沈殿が生じ始めた点を終点としていて，終点までに加えた $Ag^+$ の物質量が，試料中に存在した $Cl^-$ の物質量と等しくなるため，水中の $Cl^-$ を定量できる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Ag_2S$　　② AgCl

③ AgBr　　④ AgI

(2)　文中の下線部(a)について，$Ag_2CrO_4$ の沈殿の色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黒色　　② 白色

③ 黄色　　④ 赤褐色

［写真・映像提供元］
アフロ

# テキスト解答

# 第 1 講　固体の構造

## PART1　金属結晶①

問　23

## PART2　金属結晶②

問　9.1(g/cm$^3$)

## PART3　イオン結晶

問　2.1(g/cm$^3$)

## PART4　共有結合の結晶

問　$\frac{\sqrt{3}}{8}a$(cm)

## PART5　分子結晶

問　1.7(g/cm$^3$)

# 第 2 講　物質の状態変化

## PART1　状態変化

問　$4.7 \times 10^2$(kJ)

# 第３講　気体

## PART1　気体①

問　⑴　2.5(mol)

⑵　31(L)

## PART2　気体②

問　73

## PART3　気体③

Chapter3

⑴　0.40(mol)

⑵　$7.5 \times 10^{4}$(Pa)

⑶　1.9(L)

⑷　177(℃)

問　1.7(L)

## PART4　混合気体

問　全圧：$3.0 \times 10^{5}$(Pa)

窒素の分圧：$1.2 \times 10^{5}$(Pa)

水素の分圧：$1.8 \times 10^{5}$(Pa)

## PART5　気体の計算練習

Chapter1

問　窒素の分圧：$8.0 \times 10^{4}$(Pa)

酸素の分圧：$2.5 \times 10^{5}$(Pa)

Chapter2

問　1：4

Chapter3

問　$1.6 \times 10^5$(Pa)

# PART6　飽和蒸気圧と気体の計算練習

問　0.52(L)

# PART7　理想気体と実在気体

問　ア①

イ③

ウ④

エ⑦

※ウとエは順不同

# 第４講　溶液

## PART1　溶解と濃度

問　7.3%

## PART2　固体の溶解度

問　48g

## PART3　気体の溶解度①

問　④・⑥

## PART4　気体の溶解度②

問　①　$4.4 \times 10^{-3}$mol　　②　49mL

## PART5　希薄溶液の性質①蒸気圧降下・沸点上昇

問　180

## PART6　希薄溶液の性質②凝固点降下・冷却曲線

問　③

## PART7　希薄溶液の性質③浸透圧

問　2.93 g

## PART8　コロイド

問　⑤

# 第５講　化学反応と熱・光エネルギー（熱化学）

## PART1　熱化学の基本事項

問　(1)　$CH_4$（気）＋ $2O_2$（気）→ $CO_2$（気）＋ $2H_2O$（液）　$\Delta H = -891\text{kJ}$

(2)　$\frac{1}{2}N_2$（気）＋ $\frac{3}{2}H_2$（気）→ $NH_3$（気）　$\Delta H = -46\text{kJ}$

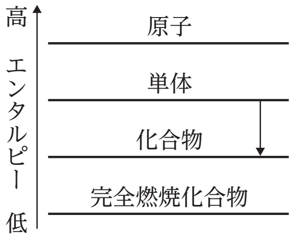
(3)　$H_2O$（液）→ $H_2O$（気）　$\Delta H = 41\text{kJ}$

## PART2　反応エンタルピーを求める実験

問　17(kJ/mol)

## PART3　ヘスの法則を利用した計算

問




## PART4　エンタルピー図・公式

問　－ 46 kJ/mol

## PART5　熱化学の計算練習

Chapter1　－1301 kJ/mol

Chapter2　－891 kJ/mol

Chapter3　－74 kJ/mol

Chapter4　2 kJ/mol

## PART6　化学反応が進む向き・化学反応と光

問　②

# 第６講　化学反応と電気エネルギー

## PART1　ダニエル電池・ファラデーの法則

問　$6.0 \times 10^{-2}$ mol

## PART2　鉛蓄電池・燃料電池

問　3.2g

## PART3　電気分解の基本

問　陽極：生成する物質 $O_2$，物質量 $2.5 \times 10^{-3}$ mol

陰極：生成する物質 Cu，物質量 $5.0 \times 10^{-3}$ mol

## PART4　電気分解の工業的利用

問　⑴　陽極：$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

⑵　$Na^+$，陽極から陰極に移動する。

## PART5　電気分解の計算

### Chapter1

問　⑴　0.900L

⑵　$1.54 \times 10^4$ 秒

### Chapter2

問　⑴　電極 a：$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

電極 b：$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

⑵　0.560 L

### Chapter3

問　0.5 倍

Chapter4

問　(1)　電極 a：$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

電極 b：$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$

電極 c：$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

電極 d：$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

(2)　電極 b

(3)　$2.5 \times 10^{-2}$ mol

# 第７講　反応速度

## PART1　化学反応の仕組み・反応速度を決める要素

問　⑴　発熱反応

⑵　$-(y-x)$ kJ/mol

⑶　$(z-y)$ kJ/mol

## PART2　濃度と反応速度

問　⑴　$4.0\times10^{-3}$ (mol/L・s)

⑵　$x=1$，$y=2$

# 第 8 講　化学平衡

## PART1　平衡定数

問　2.4 mol

## PART2　ルシャトリエの原理

問　(1)　左向き
(2)　移動しない
(3)　移動しない
(4)　左向き

## PART3　工業的製法とルシャトリエの原理

問　(1)　発熱反応
(2)　③

## PART4　水のイオン積・強酸強塩基のpH

問　12.7

## PART5　弱酸・弱塩基の電離平衡

問　(1)　2.8
(2)　11

## PART6　緩衝液・塩の加水分解

問　4.6

## PART7　電離平衡の問題演習

Chapter2

問　3.0

Chapter3

問　4.6

Chapter4

問　⑴　2.8

⑵　4.6

⑶　加水分解 $CH_3COO^- + H_2O \rightleftarrows CH_3COOH + OH^-$により水酸化物イオンを生じるため

## PART8　溶解度積

問　⑴　$1.7 \times 10^{-10}(mol/L)^2$

⑵　小さくなる

## PART9　溶解度積の応用

問　生じていない

# 確認問題解答

# 第1講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

単位格子は六面体であり，全ての頂点に同じ粒子が配列している。

(2)　③

解説：

配位数の最大値は 12 であり，配位数 12 の結晶構造を最密構造という。

(3)　①

解説：

金属結晶は配位数が大きくなりやすく，具体的には配位数 12（最大値）と 8 のどちらかの構造となる。

## 問 2

(1)　②

解説：

体心立方格子では，中心の原子が頂点の 8 個の原子と接しているため，配位数は 8 である。

(2)　①

解説：

体心立方格子では，中心に 1 個，頂点に$\frac{1}{8}\times 8$個の粒子が存在するため，粒子数は $1+\frac{1}{8}\times 8=2$ である。

⑶　③

**解説：**

体心立方格子を斜めに切ると，縦が $a$，横が $\sqrt{2}\ a$ の長方形の断面ができ，この断面の対角線の長さは三平方の定理より $\sqrt{3}\ a$ となる。この対角線は原子半径４つ分に相当するので，原子半径は $\dfrac{\sqrt{3}}{4}\ a$ となる。

# 第 1 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：

面心立方格子では，1 個の原子が周りの 12 個の原子と接しているため，配位数は 12 である。

(2)　②

解説：

面心立方格子では，面の中心に $\frac{1}{2}\times 6$ 個，頂点に $\frac{1}{8}\times 8$ 個の粒子が存在するため，粒子数は $\frac{1}{2}\times 6+\frac{1}{8}\times 8=4$ である。

(3)　①

解説：

面心立方格子の 1 つの面に注目すると，対角線の長さは三平方の定理より $\sqrt{2}\,a$ となる。この対角線は原子半径 4 つ分に相当するので，原子半径は $\frac{\sqrt{2}}{4}a$ となる。

## 問 2

(1)　④

解説：

六方最密構造では，1 個の原子が周りの 12 個の原子と接しているため，配位数は 12 である。

(2)　②

**解説：**

図の六方最密構造では, 内部に 3 個, 上下面に $\frac{1}{2} \times 2$ 個, 頂点に $\frac{1}{6} \times 12$ 個の粒子が存在するため，粒子数は $3 + \frac{1}{2} \times 2 + \frac{1}{6} \times 12 = 6$ である。

(3)　②

**解説：**

六角柱の 3 分の 1 が単位格子に相当しているので，単位格子中に含まれる粒子数は，$6 \div 3 = 2$ である。

# 第 1 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
イオン結合は，通常，金属原子と非金属原子の間で形成される（例外：アンモニウム塩）。

(2)　③

解説：
塩化セシウム CsCl の結晶は，$Cs^{+}$イオンが周りの 8 個の $Cl^{-}$イオンと接しており，$Cl^{-}$イオンも周りの 8 個の $Cs^{+}$イオンと接しているため，配位数は 8 である。

(3)　①

解説：
図の塩化セシウム CsCl の結晶では，中心に $Cs^{+}$イオンが 1 個，頂点に $Cl^{-}$イオンが $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 個分含まれているため，単位格子中に塩化セシウム CsCl の粒子は 1 個分含まれている。

## 問 2

(1)　②

解説：
塩化ナトリウム NaCl 型の結晶は，陽イオン，陰イオンともに面心立方格子の配列となっている。

⑵　②

解説：

塩化ナトリウム NaCl の結晶は，$Na^+$イオンが周りの 6 個の $Cl^-$イオンと接しており，$Cl^-$イオンも周りの 6 個の $Na^+$イオンと接しているため，配位数は 6 である。

⑶　③

解説：

図の塩化ナトリウム NaCl の結晶では，$Na^+$イオンが中心と辺に $1 + \frac{1}{4} \times 12 = 4$ 個，$Cl^-$イオンが頂点と面に $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 個含まれているため，単位格子中に塩化ナトリウム NaCl の粒子は 4 個分含まれている。

# 第1講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：

代表的な共有結合の結晶は，ダイヤモンド，ケイ素，二酸化ケイ素，炭化ケイ素，黒鉛の 5 つがあげられる。

(2)　③

解説：

ダイヤモンド型の単位格子では，1 個の原子が周りの 4 個の原子と共有結合しているため，配位数は 4 である。

(3)　④

解説：

ダイヤモンド型の単位格子には，頂点に $\frac{1}{8} \times 8 = 1$ 個，面に $\frac{1}{2} \times 6 = 3$ 個，内部に $1 \times 4 = 4$ 個の粒子が存在するため，粒子数は $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 + 1 \times 4 = 8$ である。

## 問 2

(1)　②

解説：

問 1 で示した共有結合の結晶のなかで，黒鉛のみが配位数 3 の平面層状構造の結晶である。

(2)　③

解説：

黒鉛は，問 1 で示した共有結合の結晶のなかで特殊な構造であり，層と層の間は剝がれやすく，電気を通す性質をもつ。

# 第1講　PART5　確認問題　解答

## 問1

(1)　③

解説：

ファンデルワールス力は分子量が大きいほど強く，融点や沸点が高くなる。

(2)　②

解説：

ファンデルワールス力は，分子量や分子の極性が同じときは，分子の形が球状に近いほど弱い。

(3)　①

解説：

水素結合は，フッ素 F 原子，酸素 O 原子，窒素 N 原子と水素 H 原子の間に大きな極性が生じてできる結合である。

(4)　①

解説：

分子間に水素結合をもつ分子は，もたない分子に比べて融点や沸点が高くなる。

## 問2

(1)　②

解説：

分子結晶はやわらかく，融点が低い。また，ヨウ素 $I_2$，二酸化炭素 $CO_2$，ナフタレン $C_{10}H_8$ のように昇華性をもつものがある。

⑵　③

**解説：**
氷の結晶は水素結合によって正四面体のすき間の多い構造をしている。

⑶　②

**解説：**
一般的な物質は固体より液体のほうが体積は大きく，密度は小さいが，$H_2O$ は液体より固体のほうが体積は大きく，密度が小さい。

# 第 2 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
粒子間の引力は粒子の距離によってはたらきやすさが変わり，粒子の距離は圧力に左右されるので，粒子間の引力も圧力に左右される。

(2)　③

解説：
状態変化があるときには温度は一定に保たれる。

(3)　②

解説：
過冷却の液体が凝固するときは，凝固開始直後は急速に凝固が進行し，温度が上昇する。凝固の進行が落ち着くと温度が一定に保たれる。

## 問 2

(1)　①

解説：
X は固体と液体が共存する温度を表す曲線なので，融解曲線である。

(2)　③

解説：
Y は固体と気体が共存する温度を表す曲線なので，昇華圧曲線である。

(3)　②

**解説：**

臨界点は蒸気圧曲線が途切れた点なので，B である。

# 第3講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

**解説：**

「気体の体積（気体が入っている容器の体積）≫ 分子の体積」が成立するため，気体の計算問題では分子の体積は無いものと考える。

(2)　③

**解説：**

大気圧下では水銀柱の高さが 760mm になるため，標準大気圧は 760mmHg である。

(3)　④

**解説：**

絶対温度（K）はセルシウス温度（℃）に 273 を加えたものである。（絶対温度（K）＝セルシウス温度（℃）＋273）

## 問 2

(1)　③

**解説：**

気体の圧力 $P$ は温度 $T$ と単位体積当たりの物質量 $\frac{n}{V}$ に比例するので，比例定数（気体定数）を $R$ とすると，$P = R \cdot T \cdot \frac{n}{V}$ が成立する。この式を変形すると，$PV = nRT$ となり，これが気体の状態方程式である。

(2)　①

**解説：**

体積が mL，温度が℃で与えられているので，体積を L，温度を K に直すことに注意して，気体の状態方程式 $PV = nRT$ に数値を代入すると，

$$8.3 \times 10^5 \times \frac{540}{1000} = n \times 8.3 \times 10^3 \times (27 + 273)$$

となるので，これを解くと $n = 1.8 \times 10^{-1}$ mol となる。

# 第 3 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
$n = \dfrac{w}{M}$ を気体の状態方程式 $PV = nRT$ に代入すると，$PV = \dfrac{w}{M}RT$ となるので，これを分子量 $M$ を表す式に変形すると，$M = \dfrac{wRT}{PV}$ となる。

(2)　②

解説：
密度を $d$（g/L）とすると $d = \dfrac{w}{V}$ となるため，$M = \dfrac{wRT}{PV}$ を変形すると，$M = \dfrac{RT}{P} \cdot \dfrac{w}{V} = \dfrac{RT}{P} \cdot d$ となる。

(3)　④

解説：
圧力 $P$ と温度 $T$ が一定のもとでは分子量 $M$ と密度 $d$ は比例関係にあり，特に標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）では，比例定数 $\dfrac{RT}{P}$ =22.4 になる。

(4)　②

解説：
標準状態（0℃，$1.013 \times 10^5$Pa）なので，$P$，$T$ は一定であり，密度は分子量に比例する。分子量は，$NH_3$：17，$CO_2$：44，HCl：36.5，$N_2$：28 なので，二酸化炭素の密度が最大になる。

# 第3講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

**解説：**

変化がないときは，気体の状態方程式 $PV = nRT$ を使うので，$P = 7.5 \times 10^4$Pa となる。

(2)　④

**解説：**

変化しなかったものに注目して，一定値となるものを右辺に式を立てると，$\frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$ となるため，$\frac{P}{T}$ は変化の前後で等しいことがわかる。よって，127℃における圧力を $P$ とすると，$\frac{6.0\times10^5}{27+273} = \frac{P}{127+273}$ が成立するので，$P = 8.0 \times 10^5$Pa となる。

(3)　②

**解説：**

変化しなかったものに注目して，一定値となるものを右辺に式を立てると，$\frac{PV}{T} = nR$ となるため，$\frac{PV}{T}$ は変化の前後で等しいことがわかる。よって，227℃における体積を $V$ とすると，$\frac{3.0\times10^5\times2}{27+273} = \frac{4.0\times10^5\times V}{227+273}$ が成立するので，$V = 2.5$L となる。

(4)　③

**解説：**

化学反応式を書いて, 反応前後の mol のデータを表にする。

| | $H_2$ + | $Cl_2$ → | 2HCl (mol) |
|---|---|---|---|
| 反応前 | 0.70 | 0.50 | 0 |
| 変化量 | − 0.50 | − 0.50 | + 1.0 |
| 反応後 | 0.20 | 0 | 1.0 |

よって，容器内に存在する気体は全部で 1.2mol となる。

# 第 3 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

**解説：**

平均分子量は $2 \times \frac{2}{2+3} + 28 \times \frac{3}{2+3} = 17.6$ となる。

(2)　④

**解説：**

分体積で扱うことができる条件は「圧力と温度が一定」のときであり，分圧で扱うことができる条件は「体積と温度が一定」のときである。

## 問 2

(1)　①

**解説：**

混合気体全体の体積を求めると，$PV = nRT$ より $V = \frac{nRT}{P} = \frac{(0.30+0.50)\times 8.3\times 10^3\times(27+273)}{8.3\times 10^5} = 2.4\text{L}$ となる。圧力と温度が一定のもとでは「mol 比＝体積比」が成立するので，酸素の体積（分体積）は

$2.4 \times \frac{0.30}{0.30+0.50} = 0.90\text{L}$ となる。

(2)　②

**解説：**

混合気体の全圧を求めると，$PV = nRT$ より $P = \frac{nRT}{V} = \frac{(2.0+4.0)\times 8.3\times 10^3\times(27+273)}{16.6} = 9.0 \times 10^5\text{Pa}$ となる。体積と温度が一定のもとでは「mol 比＝分圧比」が成立するので，水素の分圧は $9.0 \times 10^5 \times \frac{4.0}{2.0+4.0} = 6.0 \times 10^5\text{Pa}$ となる。

# 第 3 講　PART5　確認問題　解答

## 問 1

⑴　①

解説：

変化しなかったものに注目して，一定値となるものを右辺に式を立てると，$PV = nRT$ となるため，$PV$ は変化の前後で等しいことがわかる。よって，容積 7.0L におけるメタンの分圧を $P$ とすると, $2.1 \times 10^5 \times 3.0 = P \times 7.0$ が成立するので，$P = 9.0 \times 10^4$Pa となる。

⑵　③

解説：

⑴と同様に考えて，容積 7.0L における酸素の分圧を $P$ とすると，$4.9 \times 10^5 \times 4.0 = P \times 7.0$ が成立するので，$P = 2.8 \times 10^5$Pa となる。

⑶　①

解説：

メタンの分圧が $9.0 \times 10^4$Pa，酸素の分圧が $2.8 \times 10^5$Pa なので，全圧は $9.0 \times 10^4 + 2.8 \times 10^5 = 3.7 \times 10^5$Pa となる。

(4)　②

**解説：**

反応前後で体積と温度が一定なので，mol 比＝分圧比が成立し, 各気体の圧力（分圧）の変化は以下の通りとなる。

| | $CH_4$ | ＋ $2O_2$ | → $CO_2$ | ＋ $2H_2O$ (Pa) |
|---|---|---|---|---|
| 反応前 | $9.0\times10^4$ | $2.8\times10^5$ | 0 | - |
| 変化量 | $-9.0\times10^4$ | $-1.8\times10^5$ | $+9.0\times10^4$ | - |
| 反応後 | 0 | $1.0\times10^5$ | $9.0\times10^4$ | - |

よって，反応後の全圧は $1.9\times10^5$ Pa となる。

# 第 3 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

水 $H_2O$ が全て気体と仮定すると，その分圧は $P = \dfrac{nRT}{V} = \dfrac{0.020 \times 8.3 \times 10^3 \times (27+273)}{8.3} = 6.0 \times 10^3$Pa となる。水の飽和蒸気圧（$3.6 \times 10^3$Pa）よりも大きいので，ピストンを引く前の容器には液体の水と気体が共存している。

(2)　②

解説：

(1)より，液体の水が存在しているので水蒸気の分圧は $3.6 \times 10^3$Pa となる。窒素 $N_2$ の分圧は $P = \dfrac{0.010 \times 8.3 \times 10^3 \times (27+273)}{8.3} = 3.0 \times 10^3$Pa より，全圧は $6.6 \times 10^3$Pa となる。

(3)　①

解説：

体積を 2 倍にすると圧力は半分になるので，窒素の分圧は $3.0 \times 10^3 \times \dfrac{1}{2} = 1.5 \times 10^3$Pa となる。

(4)　②

**解説：**

体積を２倍にすると圧力は半分になるので，水が全て気体と仮定したときの分圧は $6.0 \times 10^3 \times \frac{1}{2} = 3.0 \times 10^3$Pa となる。水の飽和蒸気圧（$3.6 \times 10^3$Pa）よりも小さいので，水は全て水蒸気として存在し，水蒸気の分圧は $3.0 \times 10^3$Pa となる。

(5)　②

**解説：**

窒素の分圧が $1.5 \times 10^3$Pa，水蒸気の圧力が $3.0 \times 10^3$Pa なので，全圧は $4.5 \times 10^3$Pa となる。

# 第 3 講　PART7　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
実在気体には分子間力が働くため，圧力と温度が一定のもとでは，理想気体に比べて気体の体積が小さくなる。一方，実在気体には分子に体積があるため，圧力と温度が一定のもとでは，理想気体に比べて気体の体積が大きくなる。

(2)　②

解説：
高温下では分子の熱運動が激しくなるため，分子間力の影響が小さくなり，実在気体の体積は理想気体の体積に近づく。

(3)　③

解説：
低圧下では単位体積当たりの分子数が減少するため，分子の体積を無視できる状態に近づき，実在気体の体積は理想気体の体積に近づく。

## 問２

(1)　④

**解説：**

分子間力の影響＞分子の体積の影響のとき分子間力の影響によって，理想気体の体積 $V_{\mathrm{i}}$ ＞実在気体の体積 $V_{\mathrm{r}}$ より，$\dfrac{PV_{\mathrm{i}}}{nRT}(=1) > \dfrac{PV_{\mathrm{r}}}{nRT}$ となるので，グラフは $Z=1$ より下にズレる。またこれは，分子の体積の影響が小さい低圧下のときである。

(2)　②

**解説：**

水素よりも二酸化炭素の方が分子量が大きく，分子間力も大きいので下へのズレが大きい。一方，水素は分子間力が極めて小さいので，下へのズレがほとんどない。

# 第 4 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

塩化カリウム水溶液の溶質は塩化カリウムで，溶媒が水である。

(2)　②

解説：

ヨウ素は極性を持たないので，無極性溶媒である四塩化炭素に溶けやすい。

(3)　④

解説：

濃硝酸 1L 中に硝酸 $HNO_3$ は $1.4 \times 1000 \times \frac{90}{100} = 1260$g 含まれる。よって，物質量は $\frac{1260}{63} = 20$mol なので，濃硝酸のモル濃度は 20mol/L となる。

(4)　④

解説：

水酸化ナトリウム水溶液 100g で考えると，20% 水酸化ナトリウム水溶液の溶質は 20g，溶媒は 80g となる。

よって，質量モル濃度は $\frac{溶質の物質量(mol)}{溶媒の質量\ (kg)} = \frac{\frac{20}{40}}{\frac{80}{1000}}$

$= 6.25 \fallingdotseq 6.3$ mol/kg となる。

(5)　②

**解説：**

40% の酢酸を $V$mL 使用すると考えると，酢酸に含まれている $CH_3COOH$ の物質量 (mol) は希釈前後で不変なので，

$V \times 1.05 \times \frac{40}{100} \times \frac{1}{60} = 0.70 \times \frac{500}{1000}$ が成立し，$V =$ 50mL となる。

# 第４講　PART2　確認問題　解答

## 問１

(1)　①

解説：

含まれる $KNO_3$ の量を $x$ g とすると，30℃における溶解度と飽和溶液の関係は以下のようにまとめられる。

| | | |
|---|---|---|
| 溶解度 | 45 | $x$ |
| 飽和溶液 | 100 + 45 | 290 |

溶解度と飽和溶液は同じ比を取るため，$45 : 145 = x : 290$ が成立し，$x = 90$g となる。

(2)　①

解説：

溶解度の中で30℃から10℃に冷却すると，$KNO_3$ は $45 - 20 = 25$g 析出する。求める析出量を $x$ g とすると，冷却前の溶液と析出量の関係は以下のようにまとめられる。

| | | |
|---|---|---|
| 冷却前の溶液 | 145 | 290 |
| 析出量 | 25 | $x$ |

冷却前の溶液と析出量で比例の式を作ると，

$145 : 25 = 290 : x$ が成立し，$x = 50$g となる。

(3)　②

**解説：**

$KNO_3$ の析出量は「蒸発させた水 58g に含まれていた $KNO_3$ の量」なので，求める量を $x$ g とすると，30℃における溶媒と含まれる $KNO_3$ の量の関係は以下のようにまとめられる。

| | | |
|---|---|---|
| 溶媒 | 100 | 58 |
| $KNO_3$ の量 | 45 | $x$ |

よって，$100 : 45 = 58 : x$ となり，$x \fallingdotseq 26$g となる。

# 第 4 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

⑴　④

解説：

気体の溶解度は，大気圧のもとで一定量の水に溶解する量で表され，温度が高くなると，気体の熱運動が激しくなり気体が水中から気相へ出ていくため，小さくなる。

⑵　③

解説：

物質量 mol や質量 g は環境が変わっても変化しないが，体積は環境が変わると大きく変わって比較しにくいため，標準状態に換算したもので表す。

⑶　①

解説：

水に溶解する気体の量は，温度が一定のとき，その気体の圧力 (混合気体のときは分圧) に比例し，これをヘンリーの法則という。

⑷　④

解説：

水に非常によく溶ける気体は，ヘンリーの法則が成立しない（例：アンモニア，塩化水素）。

# 第 4 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

**解説：**

与えられた溶解度の「圧力 0.5 倍，水の体積 5 倍」の環境で実験しているため，溶解量は

$7.0 \times 10^{-4} \times 0.5 \times 5 \fallingdotseq 1.8 \times 10^{-3}$ mol となる。

(2)　③

**解説：**

標準状態に換算した体積なので，そのまま公式を利用できる。与えられた溶解度の「圧力 0.5 倍，水の体積 5 倍」の環境で実験しているため，溶解量は $0.022 \times 0.5 \times 5 = 0.055$mL となる。

(3)　④

**解説：**

その圧力のもとでの体積なので，圧力倍しない。与えられた溶解度の「水の体積 5 倍」の環境で実験しているため，溶解量は $0.022 \times 5 = 0.11$mL となる。

# 第 4 講　PART5　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

一般的に濃度が 0.1mol/kg 以下の溶液を希薄溶液という。

(2)　②

解説：

希薄溶液の性質は，溶質粒子の粒子数（溶液の濃度）のみに左右される。

(3)　②

解説：

希薄溶液の蒸気圧は，溶媒のみの蒸気圧に比べて低くなり，この現象を蒸気圧降下という。また，沸点は溶媒のみの沸点に比べて高くなり，この現象を沸点上昇という。

(4)　③

解説：

塩化マグネシウム $MgCl_2$（式量：95）は水中で $Mg^{2+}$ と $2Cl^-$ に電離するため，粒子の質量モル濃度は $\dfrac{\frac{0.95}{95}}{\frac{400}{1000}} \times 3$ となる。よって，沸点上昇度 $\Delta t_b = K_b \times m = 0.52 \times \dfrac{\frac{0.95}{95}}{\frac{400}{1000}} \times 3 = 0.039$ となるので，沸点は $100 + 0.039 = 100.039$℃となる。

# 第 4 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

塩化カリウム KCl は水中で $K^+$ と $Cl^-$ に電離するため，粒子の質量モル濃度は 0.020 × 2 となる。よって，凝固点降下度 $\Delta t_f = K_f \times m = 1.85 \times 0.020 \times 2 = 0.074$ となるので，凝固点は 0 − 0.074 =− 0.074℃となる。

(2)　③

解説：

塩化マグネシウム $MgCl_2$ は水中で $Mg^{2+}$ と $2Cl^-$ に電離するため，粒子の質量モル濃度は 0.020 × 3 となる。よって，凝固点降下度 $\Delta t_f = K_f \times m = 1.85 \times 0.020 \times 3 = 0.111$ となるので，凝固点は 0 − 0.111 =− 0.111℃となる。

(3)　②

解説：

同じ質量モル濃度では，$MgCl_2$ の方が電離したときの粒子数が多いので，粒子の質量モル濃度も大きい。よって，凝固点が低くなる（凝固点降下度が大きくなる）。

## 問 2

(1)　①

**解説：**

凝固開始予定点が凝固点となるので，溶媒の凝固点は $T_1$，溶液の凝固点は $T_3$ である。各凝固点の差が溶液の凝固点降下度になることから，溶液の凝固点降下度は $T_1 - T_3$ で表される。

(2)　②

**解説：**

凝固が始まるのは曲線部分の一番低い点なので，B である。

# 第 4 講　PART7　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

半透膜を通じて溶媒が溶液側に浸透するので，水の液面が下がり，グルコース水溶液の液面が上昇する。

(2)　②

解説：

浸透圧$\Pi$は$\Pi = cRT$で表すことができるので，

$\Pi = 2.0 \times 10^{-2} \times 8.3 \times 10^{3} \times (27 + 273) \fallingdotseq 5.0 \times 10^{4}$Pa となる。

(3)　①

解説：

浸透圧はモル濃度に比例するので，濃度が上がると浸透圧は大きくなる。

(4)　④

解説：

非電解質の分子量を$M$として浸透圧を求める式を立てると，

$$8.3 \times 10^{4} = \frac{\frac{5.0}{M}}{\frac{200}{1000}} \times 8.3 \times 10^{3} \times (27 + 273)$$

よって，$M = 7.5 \times 10^{2}$ となる。

# 第 4 講　PART8　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：
直径 $10^{-9}\sim10^{-7}$m の粒子をコロイド粒子といい，ろ紙は通過できるが半透膜は通過できない。

(2)　②

解説：
コロイドを流動性によって分類した場合，冷却したゼラチンは，流動性を失って固まった状態であるゲルに分類される。

(3)　①

解説：
コロイド溶液に強い光線を照射したときに光の通路が明るく輝いて見える現象をチンダル現象という。コロイド粒子が光を散乱させることが原因で生じる。

(4)　②

解説：
コロイド粒子の大きさを利用した分離方法を透析という。

## 問 2

(1)　①

解説：
タンパク質やデンプンのように，基本的に有機化合物のコロイドは親水コロイドである。

(2)　①

**解説：**

親水コロイドに多量の電解質を加えていくと沈殿する。
この現象を塩析という。

(3)　③

**解説：**

疎水コロイドに少量の電解質を加えていくと沈殿する。
この現象を凝析という。

(4)　③

**解説：**

疎水コロイドの凝析を防ぐために加える親水コロイドを，
保護コロイドという。

# 第 5 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
エンタルピー変化 $\Delta H$ は，発熱反応では熱を放出するため $\Delta H < 0$，吸熱反応では熱を吸収するため $\Delta H > 0$ となる。

(2)　④

解説：
物質 1mol が完全燃焼するときの反応エンタルピーは燃焼エンタルピーといい，燃焼は発熱反応なので，$\Delta H$ は必ず負の値になる。

(3)　④

解説：
酸と塩基が反応して水 1mol が生成するときの反応エンタルピーは中和エンタルピーといい，中和は発熱反応なので，$\Delta H$ は必ず負の値になる。

(4)　②

解説：
融解は固体から液体への変化であり，吸熱反応なので，$\Delta H$ は正の値になる。

(5)　②

解説：
生成エンタルピーは，物質 1mol が構成元素の単体から生成するときの反応エンタルピーなので，反応式で表す際は NO の係数を 1 とする必要がある。

# 第 5 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

**解説：**

水酸化ナトリウム 1mol が溶解すると 45kJ の熱量が放出されるので，水酸化ナトリウム 5.6g の溶解で放出される熱量は $45 \times \frac{5.6}{40} = 6.3$kJ となる。

(2)　③

**解説：**

水酸化ナトリウム水溶液の温度上昇度を $\Delta t$ ℃とすると，熱量（J）について以下の式が成り立つ。

熱量（J）$= 45 \times \frac{5.6}{40} \times 10^3 = 100 \times 4.2 \times \Delta t$

よって，$\Delta t = 15$℃となる。

(3)　②

**解説：**

水酸化カリウム 1mol あたりの発熱量を $x$（kJ/mol）とすると，熱量（J）について以下の式が成り立つ。

熱量（J）$= x \times \frac{5.6}{56} \times 10^3 = 250 \times 4.2 \times 5.5$

$x = 57.75 \fallingdotseq 58$ kJ/mol となり，温度が上昇（発熱）しているので，溶解エンタルピーは－ 58 kJ/mol である。

(4)　③

**解説：**

温度上昇度 $\Delta t$ は，グラフ c のように，放冷を示す直線部分を延長した線と縦軸の交点を読み取る。

# 第５講　PART3　確認問題　解答

## 問１

(1)　③

解説：

$\Delta H_3$ は炭素（黒鉛）と水素の単体からプロパンが生成する際のエンタルピー変化なので，プロパンの生成エンタルピーを表している。

(2)　①

解説：

$\Delta H_1$ は炭素（黒鉛）3mol が完全燃焼して二酸化炭素が生成する際のエンタルピー変化なので，炭素（黒鉛）の燃焼エンタルピーは，$\Delta H_1 \times \frac{1}{3}$ となる。

(3)　②

解説：

$\Delta H_2$ は水素 4mol が完全燃焼して水が生成する際のエンタルピー変化なので，水素の燃焼エンタルピーは，$\Delta H_2 \times \frac{1}{4}$ となる。

(4)　③

解説：

プロパンの燃焼エンタルピーは $\Delta H_4$ であり，

$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_3 + \Delta H_4$ なので，次の式が成り立つ。

$3 \times (-394) + 4 \times (-286) = (-107) + \Delta H_4$

よって，$\Delta H_4 = -2219$kJ/mol となる。

# 第 5 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

二酸化炭素の生成エンタルピーは炭素（黒鉛）の燃焼エンタルピーと捉えることもできるので，炭素（黒鉛）の燃焼エンタルピーは－ 394kJ/mol である。

(2)　③

解説：

エタン $C_2H_6$ の燃焼エンタルピーを $x$ kJ/mol とすると，エンタルピー図より，以下の式が成立する。

$-85+x=2\times(-394)+3\times(-286)$

よって，$x=-1561$kJ/mol となる。

また，公式を利用して求めることもできる。

$x=\{2\times(-394)+3\times(-286)\}-(-85)$

(3)　④

解説：

H － Cl の結合エネルギーを $x$ kJ/mol とすると，エンタルピー図より，以下の式が成立する。

$\frac{1}{2}\times 243+\frac{1}{2}\times 436-(-92.5)=x$

よって，$x=432$kJ/mol となる。

また，公式を利用して求めることもできる。

$-92.5=\left\{\frac{1}{2}\times 243+\frac{1}{2}\times 436\right\}-x$

# 第 5 講　PART5　確認問題　解答

## 問 1

（1）④

解説：

エチレンの燃焼エンタルピーを $x$ kJ/mol とすると，エンタルピー図より，以下の式が成立する。

$52 + x = 2 \times (-394) + 2 \times (-286)$

よって，$x = -1412$kJ/mol となる。

（2）③

解説：

アセチレンの生成エンタルピーを $x$ kJ/mol とすると，エンタルピー図より，以下の式が成立する。

$(-1301) + x = 2 \times (-394) + (-286)$

よって，$x = 227$kJ/mol となる。

（3）④

解説：

C − H の結合エネルギーを $x$ kJ/mol とする。昇華エンタルピーは結合エネルギーの仲間と考えられるので，エンタルピー図より，以下の式が成立する。

$718 + 2 \times 436 - (-75) = 4x$

よって，$x = 416.25 \fallingdotseq 416$ kJ/mol となる。

# 第 5 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
化学反応が自発的に進むのは，発熱方向，すなわちエンタルピーが減少する方向である。また，乱雑さが増加する方向（エントロピーが増加する方向）である。

(2)　①

解説：
光は波長が短いものほどエネルギーが高い。

(3)　③

解説：
塩基性溶液中で過酸化水素やオゾンなどにより酸化されると明るく青い光を発するのはルミノールである。

(4)　①

解説：
シュウ酸ジフェニルも化学発光する物質であり，過酸化水素で酸化されると，放出されるエネルギーを蛍光物質に与える。

# 第 6 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

**解説：**

負極は電子を放出する極であり，酸化反応が進行する。一方，正極は電子を受け取る極であり，還元反応が進行する。

(2)　③

**解説：**

素焼き板を通って正極側から負極側へ移動するイオンは硫酸イオンである。

(3)　①

**解説：**

ダニエル電池では，正極側の硫酸銅(Ⅱ)水溶液の銅(Ⅱ)イオンが反応によって減少し，無くなると反応が停止する。そのため，硫酸銅(Ⅱ)水溶液の濃度を大きくしておくと，ダニエル電池を長持ちさせることができる。

(4)　④

**解説：**

流れた電子の物質量は $\dfrac{1.5\times(1\times3600+36\times60+30)}{9.65\times10^{4}}$

$= 9.0\times10^{-2}$ mol となる。

# 第 6 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

反応時，鉛蓄電池の正極では，以下の反応が起こる。

$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightarrow PbSO_4 + 2H_2O$

(2)　①

解説：

反応時，鉛蓄電池の負極では，以下の反応が起こる。

$Pb + SO_4^{2-} \rightarrow PbSO_4 + 2e^-$

この反応式から，電子 0.50mol が流れると，負極では Pb 0.25mol が $PbSO_4$ 0.25mol に変化する。すなわち，$SO_4$（式量 96）0.25mol 分だけ重くなる。よって，96 × 0.25 = 24g 増加する。

(3)　②

解説：

鉛蓄電池のように，充電可能な電池を二次電池（蓄電池）という。

(4)　①

解説：

電解液にリン酸水溶液を用いた水素燃料電池においては，負極で水素イオンが生じ，電解液中を移動して正極の反応に利用される。

⑸　③

**解説：**

リチウムイオン電池の起電力は，約 4.0V で大きく，スマホやノートパソコンなどに幅広く利用されている。

# 第 6 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
電池の正極とつながっている極を陽極といい，陽極では電池の正極に向けて電子を放出する反応，すなわち酸化反応が進行する。

(2)　④

解説：
電池の負極とつながっている極を陰極といい，陰極では電池の負極から送られてくる電子を処理する反応，すなわち還元反応が進行する。

(3)　①

解説：
電極の銀は金属で陽性なので，電子を放出しやすい。そのため，陽極では以下のように反応して，電極が溶ける。
$Ag \rightarrow Ag^{+} + e^{-}$

(4)　④

解説：
水溶液中には陽イオンとして銀イオン（重金属イオン）が含まれているので，銀が沈殿する。よって，陰極では以下の反応が起こる。
$Ag^{+} + e^{-} \rightarrow Ag$

# 第 6 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
NaOH の製造では，陽極側の電解液に塩化ナトリウム NaCl 水溶液，陰極の電解液に希薄な水酸化ナトリウム NaOH 水溶液を用いている。

(2)　①

解説：
NaOH の製造では，両極の電解液が陽イオン交換膜で仕切られている。

(3)　②

解説：
NaOH の製造では，$Na^+$ が陽極側から陰極側に移動し，陰極側で NaOH が生成する。

## 問 2

(1)　③

解説：
アルミニウムの製造では，両極の電極に炭素 C を用いる。

(2)　③

解説：
$Al_2O_3$ は融点が約 2000℃と非常に高いが，融点降下剤として氷晶石を加えて融解させると，約 1000℃で融解させることができる。

(3)　④

解説：
銅の電解精錬は，陽極に粗銅，陰極に純銅を用いて，
硫酸酸性の硫酸銅（Ⅱ）$CuSO_4$ 水溶液を電気分解する。

(4)　②

解説：
陽極泥として析出するのは，Cu よりイオン化傾向が小さい金属なので，Ag が該当する。

# 第 6 講　PART5　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

電極 A は陽極であり，以下の反応が起こる。

$2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$

(2)　④

解説：

電極 C は陽極であり，以下の反応が起こる。

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

(3)　③

解説：

電極 B は陰極であり，以下の反応が起こる。

$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$

増加した 1.27g は銅であり，物質量は $\frac{1.27}{63.5} = 2.00 \times 10^{-2}$ mol なので，流れた電子の物質量は $2.00 \times 10^{-2} \times 2 = 4.00 \times 10^{-2}$ mol となる。

(4)　②

解説：

電極 D は陰極であり，以下の反応が起こる。

$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

流れた電子の物質量は $\frac{0.100 \times (32 \times 60 + 10)}{9.65 \times 10^4} = 2.00 \times 10^{-3}$ mol なので，発生する水素の体積は $\frac{2.00 \times 10^{-3}}{2} \times 22.4 = 2.24 \times 10^{-2}$ L となる。

# 第7講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
反応物はエネルギーが高い遷移状態を経て生成物に変化する。図の反応のうち，遷移状態に該当するのは B である。

(2)　①

解説：
反応物が遷移状態になるために必要なエネルギーを活性化エネルギーといい，図の反応のうち，活性化エネルギーを表しているのは X である。

(3)　②

解説：
図の反応のうち，反応エンタルピーを表しているのは Y であり，Z は逆反応の活性化エネルギーを表している。

(4)　③

解説：
触媒を加えると活性化エネルギーが低くなる。一方，反応エンタルピーは変わらないので，③のように変化する。

(5)　①

解説：
温度を上げると，活性化エネルギー以上のエネルギーをもった分子の割合が増えるため，反応速度は大きくなる。

# 第 7 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

0 ～ 4 分における $H_2O_2$ の平均の濃度は $\dfrac{1.60+0.40}{2}=$ 1.00 mol/L，平均の速さは $-\dfrac{0.40-1.60}{4-0}=0.30$mol/(L･min) なので，$\dfrac{0.30}{1.00}=0.30$ /min となる。

(2)　②

解説：

4 ～ 8 分における $H_2O_2$ の平均の濃度は $\dfrac{0.40+0.10}{2}=$ 0.25mol/L，平均の速さは $-\dfrac{0.10-0.40}{8-4}=0.075$mol/(L･min) なので，$\dfrac{0.075}{0.25}=0.30$ /min となる。

(3)　①

解説：

各時間帯の平均の速さを $H_2O_2$ の平均の濃度で割った値が一定であることから，この反応は一次反応である。よって，$x=1$ となる。

(4)　②

解説：

速度定数は，平均の速さを $H_2O_2$ の平均の濃度で割った値の平均値なので，$\dfrac{0.30+0.30}{2}=0.30$ /min となる。

# 第8講　PART1　確認問題　解答

## 問1

(1)　②

解説：

各物質の「反応前」「変化量」「平衡後」の物質量はそれぞれ以下の通りとなる。

| | $H_2$ | + | $I_2$ | ⇄ | 2HI | (4.0L) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 反応前 | 2.0mol | | 2.0mol | | 0mol | |
| 変化量 | −1.2mol | | −1.2mol | | +2.4mol | |
| 平衡後 | 0.80mol | | 0.80mol | | 2.4mol | |

よって，$K_c = \dfrac{\left(\dfrac{2.4}{4.0}\right)^2}{\left(\dfrac{0.80}{4.0}\right)\left(\dfrac{0.80}{4.0}\right)} = 9.0$ となる。

(2)　①

解説：

平衡状態であることから，平衡定数 $K_c$ について $K_c = \dfrac{[C]^z}{[A]^x[B]^y}$ が成立する。気体の状態方程式より，$\dfrac{n}{V} = \dfrac{P}{RT}$ となるので，$K_c$ は $K_c = \dfrac{\left(\dfrac{P_C}{RT}\right)^z}{\left(\dfrac{P_A}{RT}\right)^x\left(\dfrac{P_B}{RT}\right)^y}$ と表すことができる。$(RT)$ をまとめると，$K_c = \dfrac{(P_C)^z}{(P_A)^x(P_B)^y}(RT)^{x+y-z}$ となる。左辺の $K_c$ と右辺の $(RT)^{x+y-z}$ は温度が変化しない限りは一定値になるので，この定数を圧平衡定数 $K_p$ とすると，$K_p = \dfrac{(P_C)^z}{(P_A)^x(P_B)^y}$ となる。

(3)　③

解説：

(2)の解説より，$K_c = K_p(RT)^{x+y-z}$ となる。

# 第 8 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
温度を上げると吸熱方向に平衡が移動する。この反応は右向きが吸熱反応であるため，平衡は右向きに移動する。

(2)　②

解説：
HI の濃度を上げたことになるので，HI が減少する方向，すなわち左向きに平衡が移動する。

(3)　②

解説：
NaOH は水中で電離するため，$OH^-$を加えたことになる。よって，$OH^-$が減少する方向，すなわち左向きに平衡が移動する。

(4)　①

解説：
加圧すると物質量が減少する方向に平衡が移動する。左辺の係数の和は 3，右辺の係数の和は 2 であるため，平衡は物質量が減少する右向きに移動する。

(5)　③

解説：
Ar は反応に関与しないので，体積一定で Ar を加えても，Ar の分だけ全圧が増えるだけである。つまり，$SO_2$，$O_2$，$SO_3$ の分圧は変化しないので，平衡は移動しない。

(6)　②

**解説：**
圧力一定で Ar を加えると，Ar の分だけ $SO_2$ と $O_2$ と $SO_3$ の分圧の合計が小さくなる。よって，平衡は物質量が増加する左向きに移動する。

(7)　③

**解説：**
触媒を加えると活性化エネルギーが低くなり，反応速度は大きくなるが，活性化エネルギーは平衡移動の条件ではないので，平衡は移動しない。

# 第 8 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：

ハーバー・ボッシュ法では四酸化三鉄 $Fe_3O_4$ を主成分とする触媒を用いる。

(2)　③

解説：

ハーバー・ボッシュ法は，正反応が発熱反応で物質量減少方向であることから，ルシャトリエの原理より，温度が低く圧力が高いほど $NH_3$ の生成率が高くなる。

(3)　①

解説：

(2)より，ハーバー・ボッシュ法では温度が低いほど $NH_3$ の生成率が高くなるので，600℃（実線）よりも 400℃（点線）の方が $NH_3$ の生成率が高くなる。

(4)　③

解説：

触媒を加えると，平衡は移動しないが反応速度は大きくなる。そのため，平衡に達するまでの時間は短くなるが，$NH_3$ の生成率は変化しない。

# 第 8 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

水のイオン積 $K_w$ は，25℃のとき，

$K_w = 1.0 \times 10^{-14}(\mathrm{mol^2/L^2})$ になる。

(2)　①

解説：

水の電離は吸熱反応であるため，ルシャトリエの原理より，温度が上がると電離が進む方向に平衡が移動する。

$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$　　$\Delta H = 56.5\mathrm{kJ}$

よって，温度が上がると水のイオン積 $K_w = [H^+][OH^-]$ は大きくなる。

(3)　②

解説：

電離度 $\alpha \ll 1$ である酸・塩基は，弱酸・弱塩基なので，①～④の中では②アンモニアが該当する。

(4)　②

解説：

硫酸は 2 価の強酸であるため，以下のようになる。

$[H^+] = 0.020 \times 2 \times 1 = 4.0 \times 10^{-2}(\mathrm{mol/L})$

$\mathrm{pH} = -\log(4.0 \times 10^{-2}) = 2 - 2\log2 = 2 - 0.60 = 1.40$

⑸　③

**解説：**

水酸化カリウムは 1 価の強塩基であるため，以下のようになる。

$[OH^-] = 0.040 \times 1 \times 1 = 4.0 \times 10^{-2}$(mol/L)

$pOH = -\log(4.0 \times 10^{-2}) = 2 - 2\log 2 = 2 - 0.60 = 1.40$

$pH = 14 - 1.40 = 12.60$

# 第 8 講　PART5　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

酢酸は弱酸であり，$[\mathrm{H^+}] = \sqrt{cK_\mathrm{a}}$ が成り立つので，

$[\mathrm{H^+}] = \sqrt{3.0 \times 2.7 \times 10^{-5}} = 9.0 \times 10^{-3}(\mathrm{mol/L})$

$\mathrm{pH} = -\log(9.0 \times 10^{-3}) = 3 - 2\log 3 = 3 - 0.96 = 2.04$

$\fallingdotseq 2.0$

(2)　②

解説：

酢酸は弱酸であり，$\alpha = \sqrt{\dfrac{K_\mathrm{a}}{c}}$ が成り立つので，

$$\alpha = \sqrt{\frac{2.7\times10^{-5}}{3.0}} = 3.0 \times 10^{-3}$$

(3)　④

解説：

アンモニアは弱塩基であり，$[\mathrm{OH^-}] = \sqrt{cK_\mathrm{b}}$ が成り立つので，

$[\mathrm{OH^-}] = \sqrt{0.80 \times 2.0 \times 10^{-5}} = 4.0 \times 10^{-3}(\mathrm{mol/L})$

$\mathrm{pOH} = -\log(4.0 \times 10^{-3}) = 3 - 2\log 2 = 3 - 0.60 = 2.40$

$\mathrm{pH} = 14 - 2.40 = 11.60$

(4)　②

解説：

アンモニアは弱塩基であり，$\alpha = \sqrt{\dfrac{K_\mathrm{b}}{c}}$ が成り立つので，

$$\alpha = \sqrt{\frac{2.0\times10^{-5}}{0.80}} = 5.0 \times 10^{-3}$$

# 第 8 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

弱酸とその塩，もしくは弱塩基とその塩の混合水溶液に，少量の酸や塩基を加えても pH はほぼ一定に保たれる。

(2)　②

解説：

(1)のようなはたらきを緩衝作用といい，緩衝作用のある水溶液を緩衝液という。

## 問 2

(1)　③

解説：

弱酸と弱酸のナトリウム塩の混合溶液（緩衝液）の $[H^+]$ は，$[H^+] = K_a \times \dfrac{c_a}{c_s}$ で表すことができるので，

$[H^+] = 2.7 \times 10^{-5} \times \dfrac{0.20}{0.60} = 9.0 \times 10^{-6}(\text{mol/L})$

$\text{pH} = -\log(9.0 \times 10^{-6}) = 6 - 2\log 3 = 6 - 0.96 = 5.04$

$\fallingdotseq 5.0$

(2)　③

解説：

弱酸のナトリウム塩の水酸化物イオンのモル濃度は，

$[OH^-] = \sqrt{\dfrac{cK_w}{K_a}}$ で表すことができるので，

$[OH^-] = \sqrt{\dfrac{0.27 \times 1.0 \times 10^{-14}}{2.7 \times 10^{-5}}} = \sqrt{1.0 \times 10^{-10}}$

$= 1.0 \times 10^{-5}(\text{mol/L})$

$\text{pOH} = -\log(1.0 \times 10^{-5}) = 5.0$

$\text{pH} = 14 - 5.0 = 9.0$

# 第 8 講　PART7　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

**解説：**

酢酸は弱酸であり，$[H^+] = \sqrt{cK_a}$ が成り立つので，

$[H^+] = \sqrt{0.27 \times 2.7 \times 10^{-5}} = 2.7 \times 10^{-3}$(mol/L)

$pH = -\log(2.7 \times 10^{-3}) = 3 - \log 2.7 = 3 - 0.43 = 2.57$

$\fallingdotseq 2.6$

(2)　②

**解説：**

溶液は未反応の酢酸と反応により生じた酢酸ナトリウムの混合溶液，すなわち緩衝液となっている。未反応の酢酸は 0.27mol/L × 0.050L = 0.0135mol，生じた酢酸ナトリウムは 0.27mol/L × 0.050L = 0.0135mol ある。緩衝液の $[H^+]$ は，$[H^+] = K_a \times \dfrac{c_a}{c_s}$ で表すことができるので，

$$[H^+] = 2.7 \times 10^{-5} \times \frac{\frac{0.0135}{0.15}}{\frac{0.0135}{0.15}} = 2.7 \times 10^{-5} \text{(mol/L)}$$

$pH = -\log(2.7 \times 10^{-5}) = 5 - \log 2.7 = 5 - 0.43 = 4.57$

$\fallingdotseq 4.6$

(3)　②

**解説：**

水酸化ナトリウム水溶液を合計 100mL 加えると，中和点に至る。中和点では全ての酢酸が反応によって酢酸ナトリウムに変化し，酢酸ナトリウムの水溶液となっている。そのため，中和点では酢酸ナトリウムの加水分解が起こっており，塩基性を示す。

# 第 8 講　PART8　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

**解説：**

塩化銀の飽和溶液のモル濃度を $x$mol/L とすると，塩化銀の溶解平衡は以下のように表すことができる。

$$AgCl(固) \rightleftarrows Ag^{+} + Cl^{-}$$

$x$mol/L 溶解　$x$　$x$

よって，溶解度積 $K_{sp}$ は $K_{sp} = [Ag^{+}][Cl^{-}] = x \cdot x = x^2$ となるので，$x^2 = 9.0 \times 10^{-10}$ を解いて，$x = 3.0 \times 10^{-5}$mol/L となる。

(2)　④

**解説：**

塩化ナトリウムを加えると，水中で $Cl^{-}$ が増加するため，溶解平衡が移動し，AgCl の溶解が抑制される（共通イオン効果）。

(3)　①

**解説：**

$Ag^{+}$ と $Cl^{-}$ の濃度の積 $[Ag^{+}][Cl^{-}]$ は，

$[Ag^{+}][Cl^{-}] = 2.0 \times 10^{-4} \times 5.0 \times 10^{-6}$

$= 1.0 \times 10^{-9}\ (mol/L)^2$

であり，$[Ag^{+}][Cl^{-}] > K_{sp}$ なので，この溶液には沈殿として AgCl が存在する。

(4)　④

**解説：**

クロム酸銀の飽和溶液のモル濃度を $x$mol/L とすると，

クロム酸銀の溶解平衡は以下のように表すことができる。

$$Ag_2CrO_4(固) \rightleftarrows 2Ag^+ + CrO_4^{2-}$$

$x$mol/L 溶解　　$2x$　　$x$

よって，溶解度積 $K_{sp}$ は

$K_{sp} = [Ag^+]^2[CrO_4^{2-}] = (2x)^2 \cdot (x) = 4x^3$ となるので，

$K_{sp} = 4x^3 = 4 \times (1.0 \times 10^{-4})^3 = 4.0 \times 10^{-12}(mol/L)^3$

となる。

# 第 8 講　PART9　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
pH を小さくする（$H^+$を増やす）と，$H_2S$ の電離平衡が左に移動し，$S^{2-}$が減少するので，ZnS の溶解平衡が右に移動して，沈殿は減少する。一方，pH を大きくする（$H^+$を減らす）と，$H_2S$ の電離平衡が右に移動し，$S^{2-}$が増加するので，ZnS の溶解平衡が左に移動して，沈殿は増加する。

(2)　①

解説：
ZnS は pH2 では完全に溶解する。

(3)　②

解説：
ZnS は pH9 では溶解平衡の状態となり，沈殿が生じる。

## 問 2

(1)　②

解説：
モール法では溶解度積の差によって，先に AgCl が生じる。

(2)　④

解説：
$Ag_2CrO_4$ の沈殿は赤褐色で，赤褐色沈殿が生じ始めた点を滴定の終点としている。

# はじめに

みなさん，こんにちは。

みなさんは，化学に対してどのようなイメージがありますか。

「覚えることが多そう」「化学式がよくわからない」「モルや濃度の計算が理解できない」など，ネガティブなイメージを持っている人も少なくないのではないでしょうか。

「ベーシックレベル化学」は，そんなネガティブなイメージを払拭できる講座です。講義の中で基本的なことをしっかりと扱い，知っておくべきこと，考え方をしっかりと話しています。

まずは受講し，そのテーマが理解できたら，手を動かして問題を解いてみましょう。それを繰り返していくと，きっと化学に対するネガティブなイメージは消え，化学の問題が解けるようになっているはずです。

みなさんが化学を楽しんで学び，夢を叶えていくことができるよう応援しています。

坂田　薫

# 講義の受け方

## 受講対象

主に「化学」を初めて学ぶ人

## 講座の構成

各 PART は「講義」「演習問題」「確認テスト」で構成されています。

- 講義　基本的な知識や重要事項を短い動画で学びます。
- 演習問題　短い動画を見て，講師と一緒に問題を解きましょう。
- 確認テスト　授業で学んだ内容を，異なる問題で復習しましょう。

## 学習の流れ

- 予習　基本的に不要です。
- 授業　「講義」と「演習問題」の動画で学びましょう。
- 復習　授業で学んだ内容を，確認テストで復習しましょう。

## テキストの使い方

テキストは重要なところを穴埋め形式にしてあります。授業を受けながら，色ペンなどで埋めていき，復習の際にはそこを中心に確認していくとよいでしょう。

< Note >

# 目次


第9講 無機反応と気体
PART1 無機反応と気体の製法
PART2 気体の性質

第10講 非金属元素
PART1 ハロゲン
PART2 酸素
PART3 硫黄
PART4 窒素
PART5 リン
PART6 ケイ素

第11講 金属の単体の反応
PART1 金属のイオン化傾向

第12講 沈殿と無機反応
PART1 沈殿生成反応と沈殿の色
PART2 錯イオン形成反応と錯イオン
PART3 系統分析

第13講 典型金属元素
PART1 アルカリ金属
PART2 アルカリ土類金属
PART3 アルミニウム

第14講 遷移金属元素
PART1 遷移元素
PART2 銅
PART3 鉄

第15講 有機化合物の特徴と分類
PART1 元素分析
PART2 有機化合物の構造
PART3 構造異性体①
PART4 構造異性体②
PART5 立体異性体①
PART6 立体異性体②

第16講 脂肪族炭化水素
PART1 飽和炭化水素
PART2 アルケン
PART3 アルキン

第17講 酸素を含む脂肪族化合物
PART1 アルコール・エーテル
PART2 アルデヒド・ケトン①
PART3 アルデヒド・ケトン②
PART4 カルボン酸・エステル①
PART5 カルボン酸・エステル②
PART6 油脂
PART7 セッケンと合成洗剤

第18講 芳香族炭化水素
PART1 ベンゼン・アルキルベンゼン

第19講 酸素を含む芳香族化合物
PART1 フェノール①
PART2 フェノール②

第20講 窒素を含む芳香族化合物
PART1 アニリン

第21講 有機化合物の分離

PART1 芳香族化合物の分離

第22講 糖類

PART1 単糖類

PART2 二糖類

PART3 多糖類（デンプン）

PART4 多糖類（セルロース）

第23講 タンパク質

PART1 アミノ酸

PART2 タンパク質

PART3 酵素

第24講 核酸

PART1 核酸

第25講 合成高分子化合物

PART1 合成高分子化合物①

PART2 合成高分子化合物②

PART3 合成高分子化合物③

第 9 講　無機反応と気体

# PART1　無機反応と気体の製法

目標　・無機反応をしっかりと理解し，気体の製法を学ぼう！

## Chapter1　気体の製法の考え方

要点

気体の製法の考え方

与えられた反応物の組み合わせから「何反応が起こるか」を考える。

### ◆ 気体の製法の考え方　重要

気体の製法の多くは反応物が与えられる。その反応物の組み合わせから「何反応が起こるか」が判断できれば，暗記しておかなくても，発生する気体を答えることができる。

例　硫化鉄(Ⅱ)FeS ＋希硫酸 $H_2SO_4$

→弱酸である硫化水素 $H_2S$ の組み合わせが確認できるため，弱酸遊離反応が起こり，$H_2S$ が生成することがわかる。

$$FeS + H_2SO_4 \rightarrow H_2S + FeSO_4$$

このように，単純に製法を丸暗記するのではなく，反応をしっかり理解することで暗記量は激減する。

気体の製法で扱う反応としっかり向き合っていこう。

まとめ

・与えられた反応物の組み合わせから（　　　　　　　　　　）が判断できれば，発生する気体を答えることができる。

# Chapter2　酸化還元反応と気体の製法

要点

酸化還元反応と気体の製法

・酸化剤Ⓞと還元剤Ⓡの組み合わせになっていたら酸化還元反応。

・酸化剤Ⓞ，還元剤Ⓡが何に変わるかを考えれば発生する気体がわかる。

## ◆ 酸化還元反応　重要

酸化剤Ⓞと還元剤Ⓡの反応が酸化還元反応である。

酸化剤Ⓞ＋還元剤Ⓡ → 弱い還元剤Ⓡ ＋ 弱い酸化剤Ⓞ

与えられた反応物が「酸化剤Ⓞと還元剤Ⓡの組み合わせ」になっていたら酸化還元反応と判断し，その酸化剤Ⓞもしくは還元剤Ⓡが何に変化するか思い出そう。

例　銅＋熱濃硫酸

→ 酸化剤Ⓞ（熱濃硫酸）と還元剤Ⓡ（銅）の組み合わせなので酸化還元反応。

→ 熱濃硫酸は酸化剤Ⓞとして反応後，二酸化硫黄 $SO_2$ を生じる。

→ 発生する気体は $SO_2$ である。

## ◆ 酸化還元反応を利用した気体の製法　重要

酸化還元反応を利用した気体の製法には以下のようなものがある。

| | 気体 | 製法 | 化学反応式 |
|---|---|---|---|
| 1 | $H_2$ | 亜鉛＋希硫酸 | $Zn + H_2SO_4 \longrightarrow ZnSO_4 + H_2$ |
| 2※ | $Cl_2$ | 酸化マンガン(Ⅳ)＋濃塩酸 | $MnO_2 + 4HCl \longrightarrow MnCl_2 + 2H_2O + Cl_2$ |
| 3※ | $SO_2$ | 銅＋濃硫酸 | $Cu + 2H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$ |
| 4 | NO | 銅＋希硝酸 | $3Cu + 8HNO_3 \longrightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$ |
| 5 | $NO_2$ | 銅＋濃硝酸 | $Cu + 4HNO_3 \longrightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NO_2 + 2H_2O$ |

※加熱が必要な製法

酸化剤Ⓞと還元剤Ⓡの組み合わせになっていることを確認し，それぞれ何に変わるかをしっかりと復習しておこう！

まとめ

・反応物の組み合わせが酸化剤◎と還元剤Ⓡの組み合わせになっているときは，
（　　　　　　　　　）である。

# Chapter3　弱酸・弱塩基遊離反応と気体の製法

要点

弱酸・弱塩基遊離反応と気体の製法

・「強酸＋弱酸由来の塩」「強塩基＋弱塩基由来の塩」の組み合わせが弱酸・弱塩基遊離反応。

・生じる弱酸・弱塩基が発生する気体となる。

## ◆ 弱酸・弱塩基遊離反応　重要

「強酸＋弱酸由来の塩」「強塩基＋弱塩基由来の塩」の組み合わせで進行するのが弱酸・弱塩基遊離反応である。

強酸 ＋ 弱酸由来の塩 → 弱酸 ＋ 強酸由来の塩

強塩基 ＋ 弱塩基由来の塩 → 弱塩基 ＋ 強塩基由来の塩

「反応物の組み合わせの中に弱酸や弱塩基が見えたら，くっつける」と考えると簡単に判断できる。

例　硫化鉄(Ⅱ)＋希硫酸

→希硫酸が強酸であることはすぐにわかる。

相手を見ると弱酸 ($H_2S$) 由来の塩であるため，弱酸遊離反応と判断できる。

（弱酸の $H_2S$ が見えることから判断してもよい）

$$FeS + H_2SO_4$$

→発生する気体は弱酸の $H_2S$ である。

## ◆ 弱酸・弱塩基遊離反応を利用した気体の製法　重要

弱酸・弱塩基遊離反応を利用した気体の製法には以下のようなものがある。

| | 気体 | 製法 | 化学反応式 |
|---|---|---|---|
| 1 | $CO_2$ | 炭酸カルシウム＋希塩酸 | $CaCO_3 + 2HCl \longrightarrow CaCl_2 + H_2O + CO_2$ |
| 2 | $H_2S$ | 硫化鉄(Ⅱ)＋希塩酸 | $FeS + 2HCl \longrightarrow FeCl_2 + H_2S$ |
| 3 | $SO_2$ | 亜硫酸水素ナトリウム＋希硫酸 | $2NaHSO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O + 2SO_2$ |
| 4※ | $NH_3$ | 塩化アンモニウム＋水酸化カルシウム | $2NH_4Cl + Ca(OH)_2 \longrightarrow CaCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O$ |

※加熱が必要な製法

反応物の組み合わせの中から弱酸や弱塩基を見つける練習をしておこう！

まとめ

・反応物が「強酸＋弱酸由来の塩」「強塩基＋弱塩基由来の塩」の組み合わせになっていたら（　　　　　　　　　　）反応である。

# Chapter4　揮発性の酸遊離反応と気体の製法

要点

揮発性の酸遊離反応と気体の製法

・「揮発性の酸の塩＋濃硫酸」の組み合わせが揮発性の酸遊離反応。

・生じる揮発性の酸（HCl，HF）が発生する気体となる。

## ◆ 揮発性の酸　重要

沸点が低く，常温でも蒸発する酸を揮発性の酸という。

揮発性の酸には以下の３つがある。

$HNO_3$・HCl・HF

（硝酸は常温では液体であるため，以下，気体の製法としては除く。）

## ◆ 揮発性の酸遊離反応　重要

「揮発性の酸の塩＋濃硫酸」の組み合わせで進行するのが揮発性の酸遊離反応である。

揮発性の酸の塩 ＋ 濃硫酸 → 揮発性の酸 ＋ 硫酸塩

「反応物の組み合わせの中に揮発性の酸が見えたら，くっつける」と考えると，簡単に判断できる。

**例** 塩化ナトリウム＋濃硫酸

→ 揮発性の酸の塩 (NaCl) と濃硫酸の組み合わせなので，揮発性の酸遊離反応。

(HCl が見えることから判断してもよし)

→ 揮発性の酸 (HCl) が生成する。

→ 発生する気体は HCl である。

### ◆ 揮発性の酸遊離反応を利用した気体の製法 重要

揮発性の酸遊離反応を利用した気体の製法には以下のようなものがある。

| | 気体 | 製法 | 化学反応式 |
|---|---|---|---|
| 1※ | HCl | 塩化ナトリウム＋濃硫酸 | $NaCl + H_2SO_4 \longrightarrow NaHSO_4 + HCl$ |
| 2※ | HF | フッ化カルシウム*＋濃硫酸<br>*ホタル石 | $CaF_2 + H_2SO_4 \longrightarrow CaSO_4 + 2HF$ |

※加熱が必要な製法

反応物の組み合わせの中から揮発性の酸の気体 (HCl・HF) を見つける練習をしておこう！

**まとめ**

・反応物の組み合わせが「揮発性の酸の塩＋濃硫酸」の組み合わせになっているときは，

(　　　　　　　　　　) 反応である。

# Chapter5　分解反応と気体の製法

**要点**

分解反応と気体の製法

・1種類の物質が2種類以上に分かれていたら分解反応。

・分解により生成するのは，空気中で安定な物質。

### ◆ 分解反応 重要

1種類の物質が2種類以上に分かれる反応を分解反応という。

物質A → 物質B ＋ 物質C

（酸化還元反応でも，1種類の物質が2種類以上に分かれていたら分解反応と分類される）

例 過酸化水素＋酸化マンガン(Ⅳ)

→ 酸化マンガン(Ⅳ)$MnO_2$ が触媒としてはたらき，$H_2O_2$ の分解が進行。

（$H_2O_2$ が酸化剤◎としても還元剤Ⓡとしてもはたらく酸化還元反応）

→ $H_2O$ と $O_2$ が生成する。

（$H_2O_2$ は酸化剤◎として反応後 $H_2O$ を生じ，還元剤Ⓡとして反応後 $O_2$ を生じる）

→ 発生する気体は $O_2$ である。

### ◆ 分解反応を利用した気体の製法 重要

分解反応を利用した気体の製法には以下のようなものがある。

| | 気体 | 製法 | 化学反応式 |
|---|---|---|---|
| 1※ | $O_2$ | （加熱不要）過酸化水素＋酸化マンガン(Ⅳ)* （*触媒） | $2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O+O_2$ |
| | | 塩素酸カリウム＋酸化マンガン(Ⅳ)* （*触媒） | $2KClO_3 \longrightarrow 2KCl+3O_2$ |
| 2※ | $N_2$ | 亜硝酸アンモニウム | $NH_4NO_2 \longrightarrow N_2+2H_2O$ |
| 3※ | CO | ギ酸＋濃硫酸* （*触媒） | $HCOOH \longrightarrow CO+H_2O$ |

※加熱が必要な製法

分解反応は，加熱により無理矢理進行させるものもあるため，ある程度知っておく必要がある。気体の製法だけでなく工業的製法でも登場するため，1つずつ頭に入れていこう。

**まとめ**

・1種類の物質が2種類以上に分かれる反応を（　　　　）反応という。

## Chapter6　加熱が必要な気体の製法

**要点**

加熱が必要な気体の製法

「濃硫酸を使用」「固体＋固体」「$MnO_2$ を酸化剤◎として使用」の3つは加熱が必要。

### ◆ 加熱が必要な気体の製法　重要

加熱が必要な気体の製法は以下の３つである。

・**濃硫酸を使用する**

　例　銅＋熱濃硫酸（$SO_2$ の製法）

・**固体と固体の反応**

　例　塩化アンモニウムと水酸化カルシウム（$NH_3$ の製法）

・**酸化マンガン(Ⅳ)を酸化剤◎として使用する**　（$Cl_2$ の製法のみ）

　例　酸化マンガン(Ⅳ)＋濃塩酸（$Cl_2$ の製法）

ここまで学んだ製法でしっかりと確認しておこう！

**まとめ**

加熱が必要な気体の製法は以下の３つである。

・(　　　　　) を使用する

・(　　　　) ＋ (　　　　) の反応

・$MnO_2$ を (　　　　　) として使用する

## Chapter7　演習問題

問　次の反応物の組み合わせで発生する気体を化学式で答えよ。また，加熱が必要な製法を全て選べ。

(1)　銅＋濃硝酸

(2)　炭酸カルシウム＋濃塩酸

(3)　塩化ナトリウム＋濃硫酸

(4)　ギ酸＋濃硫酸

(5)　塩化アンモニウム＋水酸化ナトリウム

< Note >

# 第9講　PART1　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　硫化鉄(Ⅱ)と希塩酸の反応で発生する気体として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$H_2$　　②　$H_2S$

③　$Cl_2$　　④　$SO_2$

(2)　銅と希硝酸の反応で発生する気体として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$N_2$　　②　$O_2$

③　NO　　④　$NO_2$

(3)　フッ化カルシウム（ホタル石）に濃硫酸を加えて反応させることで発生する気体として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$H_2$　　②　$F_2$

③　$SO_2$　　④　HF

(4)　亜硝酸アンモニウムを加熱することで発生する気体として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$N_2$　　②　NO

③　$NO_2$　　④　$NH_3$

⑸　次の①～④のうち，気体の製法において，反応に加熱が必要でないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

a.　酸化マンガン(Ⅳ)＋濃塩酸

b.　銅＋濃硫酸

c.　塩化アンモニウム＋水酸化カルシウム

d.　過酸化水素＋酸化マンガン(Ⅳ)※（※ 触媒）

①　a　　　②　b

③　c　　　④　d

# PART2　気体の性質

目標　・重要な気体の性質を押さえていこう！

## Chapter1　気体の性質

要点

気体の性質

「水溶性」「刺激臭」「酸化力・還元力」「有色」の性質をもつ代表的な気体を知っておく。

### ◆ 気体の性質　重要

特に重要な性質をもつ気体にはどんなものがあるのか確認しよう。

(1)　**水溶性**

$NH_3$・HCl・$Cl_2$・$CO_2$・$NO_2$・$SO_2$・$H_2S$

（$NH_3$・HCl：非常によく溶ける）

→ ヘンリーの法則が成立しない

(2)　**刺激臭**

$NH_3$・HCl・$Cl_2$・$NO_2$・$SO_2$

((1)の 7 つから $CO_2$（無臭）と $H_2S$（腐卵臭）を除いたもの)

(3)　**酸化力・還元力**

酸化力：$O_2$・$O_3$・$NO_2$・$Cl_2$※

（$O_3$・$NO_2$・$Cl_2$：KI デンプン紙㊕）

還元力：$H_2$・CO・$H_2S$・$SO_2$※

（$H_2$・CO：高温）

※ $Cl_2$・$SO_2$ は漂白作用あり

($SO_2$ はふつう還元剤としてはたらくが，$H_2S$ との反応では酸化剤になる)

(4)　**有色**

$Cl_2$ ・ $NO_2$ ・ $O_3$

黄緑色　赤褐色　淡青色

**まとめ**

水溶性：(　　　)・(　　　)・(　　　)・(　　　)・(　　　)

(　　　)・(　　　)

刺激臭：(　　　)・(　　　)・(　　　)・(　　　)・(　　　)

酸化力：(　　　)・(　　　)・(　　　)・(　　　)

還元力：(　　　)・(　　　)・(　　　)・(　　　)

有色　：(　　　)・(　　　)・(　　　)

# Chapter2　気体の捕集方法

**要点**

気体の捕集方法

水溶性の気体で空気より軽い（分子量 29 より小）→ 上方置換

水溶性の気体で空気より重い（分子量 29 より大）→ 下方置換

水溶性の気体以外 → 水上置換

## ◆ 気体の捕集方法　重要

水溶性の気体を思い出してみよう。

$NH_3$・HCl・$Cl_2$・$CO_2$・$NO_2$・$SO_2$・$H_2S$

上記の水溶性の気体（7 つ）は，水に溶解するため，水上置換は不適である。

・分子量が空気の平均分子量（約 29）より小さい気体（$NH_3$ のみ）→ 上方置換

・分子量が空気の平均分子量（約 29）より大きい気体（$NH_3$ 以外）→ 下方置換

$NH_3$・HCl・$Cl_2$・$CO_2$・$NO_2$・$SO_2$・$H_2S$

上方置換（$NH_3$）　下方置換（HCl～$H_2S$）

また，上方置換で捕集する $NH_3$ が塩基性の気体，下方置換で捕集する $NH_3$ 以外が酸性の気体となる。

$NH_3$・HCl・$Cl_2$・$CO_2$・$NO_2$・$SO_2$・$H_2S$

塩基性　酸性

水溶性の気体以外は水上置換と判断しよう。

**まとめ**

水溶性で空気より軽い気体（$NH_3$）→（　　　　　　）

水溶性で空気より重い気体（$NH_3$ 以外の水溶性気体）→（　　　　　　）

水溶性の気体以外 →（　　　　　　）

# Chapter3　乾燥剤の選び方

**要点**

乾燥剤の選び方

目的の気体と反応しない乾燥剤を選ぶ。

## ◆ 乾燥剤の選び方 重要

水上置換で捕集したり，目的の気体と同時に水蒸気が発生する場合は，乾燥剤に通じて水蒸気を取り除く必要がある。

そのときに選ぶ適切な乾燥剤は「目的の気体と反応しない」ものである。

(1)　**中和反応を起こさない組み合わせを選ぶ**

目的の気体と乾燥剤の反応の多くは中和反応である。酸と塩基の組み合わせにならないものを選ぼう。

**例**　$NH_3$ ＋水蒸気

→ $NH_3$ が塩基性の気体であるため，酸性の乾燥剤は NG。中性や塩基性の乾燥剤が適切。

(2)　**その他の反応を起こさない組み合わせを選ぶ（２組のみ NG）**

中和反応ではないが，反応してしまう組み合わせが２つある。以下の２つを知っておこう。

・<u>$H_2S$（目的の気体）と濃硫酸（乾燥剤）の組み合わせ</u>

→ $H_2S$ も濃硫酸も共に酸性であるため，中和反応は起こらない。しかし，$H_2S$( 還元剤 ) と濃硫酸（酸化剤）で酸化還元反応が進行するため不適である。

・<u>$NH_3$（目的の気体）と $CaCl_2$(乾燥剤）の組み合わせ</u>

→ $NH_3$（塩基性）と $CaCl_2$（中性）では中和反応は進行しない。しかし，$NH_3$ が $CaCl_2$ に吸着されるため不適である。

まとめ

・気体を乾燥剤に通じるときは，目的の気体と乾燥剤が（　　　　　　　　）組み合わせを選ぶ。

## Chapter4　演習問題

**問**　次の反応物の組み合わせで発生する気体を化学式で答えよ。また，その気体を乾燥させる乾燥剤として適切なものを 1 つ選べ。ただし，同じものを選んではいけない。

(1)　塩化アンモニウム＋水酸化カルシウム

(2)　炭酸カルシウム＋塩酸

(3)　硫化鉄(Ⅱ)＋希硫酸

乾燥剤：① 濃硫酸　② ソーダ石灰（CaO+NaOH）　③ $CaCl_2$

# 第 9 講　PART2　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　次の①～④の気体のうち，刺激臭をもたないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① HCl　② $CO_2$
③ $Cl_2$　④ $SO_2$

(2)　次の①～④の気体のうち，酸化力をもつものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $H_2S$　② $H_2$
③ CO　④ $O_3$

(3)　二酸化窒素 $NO_2$ の色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 淡青色　② 赤褐色
③ 淡黄色　④ 黄緑色

(4)　次の①～④の気体のうち，上方置換で捕集するものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $CO_2$　② $H_2S$
③ HCl　④ $NH_3$

(5)　塩化アンモニウムと水酸化カルシウムの反応で発生する気体を乾燥させるとき，乾燥剤として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 塩化カルシウム　② 濃硫酸
③ 十酸化四リン　④ ソーダ石灰

## < Note >

# 第 10 講　非金属元素
# PART1　ハロゲン

目標　・ハロゲンの単体，ハロゲン化水素の性質と反応をしっかりと押さえよう！

## Chapter1　ハロゲンの単体

要点

ハロゲンの単体

ハロゲンの単体は酸化剤として反応する。

### ◆ ハロゲンの単体　重要

ハロゲンの単体は全て二原子分子である。

| | ① | | | ② | ③ | ④ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 融点<br>沸点 | 状態<br>(常温) | 色 | 酸化力 | 水素との反応 | 水との反応 |
| フッ素<br>$F_2$ | 低い | **気体** | 淡黄色 | 強い | 低温・暗所でも<br>激しく反応 | 激しく反応<br>**酸素発生** |
| 塩素<br>$Cl_2$ | ↓ | **気体** | **黄緑色** | ↑ | 光を照射すると<br>激しく反応 | 一部反応<br>溶解する |
| 臭素<br>$Br_2$ | ↓ | **液体** | **赤褐色** | ↑ | 加熱・触媒<br>で反応 | わずかに反応<br>溶解する |
| ヨウ素<br>$I_2$ | 高い | **固体** | **黒紫色** | 弱い | 加熱・触媒で<br>少量反応 | 反応せず<br>**溶解しない** |

① **常温常圧における状態**

常温常圧の状態で物質の三態（気体・液体・固体）が揃っているのは，17 族だけである。色と共におさえておこう。

② **酸化力**

酸化力はフッ素が一番強く，ヨウ素が一番弱い。

**酸化力**：$F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$

③ **$H_2$ との反応**

酸化力の強い $F_2$ が最も簡単に反応し，$I_2$ は最も反応性が低いことがわかる。

④　$H_2O$ との反応

酸化力の最も強い $F_2$ は O 原子を酸化して $O_2$ が発生する。また，$Cl_2$ は O 原子を酸化することはできないが，反応して HCl と HClO を生成する。

そして，最も酸化力の弱い $I_2$ は $H_2O$ と反応しない。

**まとめ**

| | ① | | | ② | ③ | ④ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 融点<br>沸点 | 状態<br>(常温) | 色 | 酸化力 | 水素との反応 | 水との反応 |
| フッ素<br>$F_2$ | 低い | (　　　) | 淡黄色 | 強い | 低温・暗所でも<br>激しく反応 | 激しく反応<br>(　　　) |
| 塩素<br>$Cl_2$ | ↓ | (　　　) | (　　　) | ↑ | 光を照射すると<br>激しく反応 | 一部反応<br>溶解する |
| 臭素<br>$Br_2$ | | (　　　) | (　　　) | | 加熱・触媒<br>で反応 | わずかに反応<br>溶解する |
| ヨウ素<br>$I_2$ | 高い | (　　　) | (　　　) | 弱い | 加熱・触媒で<br>少量反応 | 反応せず<br>(　　　) |

・ハロゲンの単体は（　　　　　　）として反応する。

酸化力の強さ　（　　　　　　　　　　　　）

## Chapter2　ハロゲン化水素

**要点**

ハロゲン化水素

分子間に水素結合をもつ HF のみ特殊な性質を示す。

### ◆ ハロゲン化水素　重要

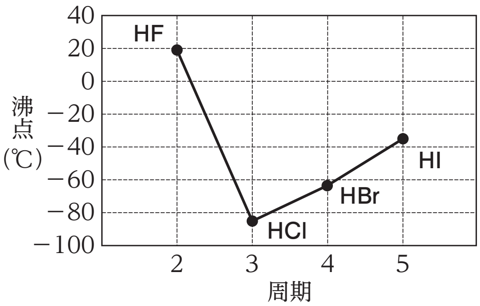
| | ① | ② | | ③ |
|---|---|---|---|---|
| | 沸点 | 水溶液(㊔~酸) | | その他の性質 |
| フッ化水素HF | **最も高い** | フッ化水素酸<br>**弱酸** | | **ガラス($SiO_2$)と反応**<br>⇒　ポリエチレン容器保存 |
| 塩化水素HCl | 低い | 塩酸(塩化水素酸)<br>強酸 | 弱い | $NH_3$を近づけると白煙を生じる |
| 臭化水素HBr | ↓ | 臭化水素酸<br>強酸 | ↓ | — |
| ヨウ化水素HI | 高い | ヨウ化水素酸<br>強酸 | 強い | — |

①　沸点

通常，分子量の大きい分子ほど沸点が高くなる。しかし，ハロゲン化水素の中で最も分子量の小さい HF の沸点が一番高い。その理由は，HF が分子間に結合力の強い水

素結合をもつためである。

そのほかのハロゲン化水素は分子量の増加に従い，HCl<HBr<HI の順で沸点が高くなっている。




② **酸の強弱**

ハロゲン化水素は全て酸である。

水溶液になると化合物名の最後に「酸」がつく。

**例** HCl「塩化水素」→ HClaq「塩化水素酸（略して塩酸）」

その中で，HF のみが弱酸となる。その理由は，分子間に結合力の強い水素結合をもち，$H^+$ が電離しにくくなるためである。

③ **その他**

HF は気体も水溶液もガラス（$SiO_2$）と反応するため，ポリエチレン容器に保存する。

HCl は $NH_3$ と反応して白煙 ($NH_4Cl$) を生じる。この反応は HCl または $NH_3$ の検出法として利用されている。

**まとめ**

| | ① 沸点 | ② 水溶液(名～酸) | | ③ その他の性質 |
|---|---|---|---|---|
| フッ化水素HF | （　　） | フッ化水素酸<br>（　　　） | | （　　　　　）<br>⇒ ポリエチレン容器保存 |
| 塩化水素HCl | 低い<br>↓ | 塩酸（塩化水素酸）<br>強酸 | 弱い<br>↓ | $NH_3$を近づけると白煙を生じる |
| 臭化水素HBr | ↓ | 臭化水素酸<br>強酸 | ↓ | ― |
| ヨウ化水素HI | 高い | ヨウ化水素酸<br>強酸 | 強い | ― |

・ハロゲン化水素の中で，HF の沸点が一番高く，HF のみ弱酸であるのは，分子間に強い（　　　　　　）をもつからである。

# Chapter3　塩素の実験室的製法

**要点**

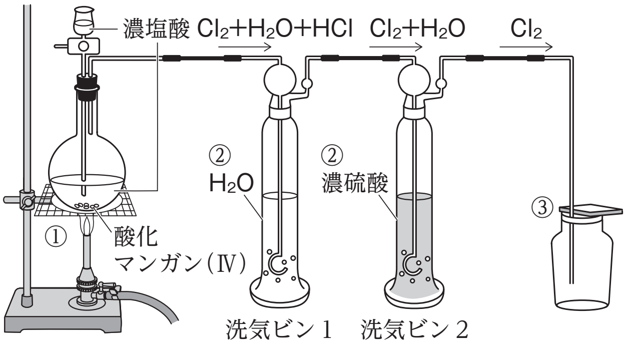
塩素の実験室的製法

得られる混合気体から，HCl を水で，$H_2O$ を濃硫酸で取り除く。

### ◆ 塩素の実験室的製法　重要

酸化マンガン(Ⅳ)と濃塩酸から $Cl_2$ をつくるときの装置を以下に示す。

$$MnO_2 + 4HCl \rightarrow Cl_2 + MnCl_2 + 2H_2O$$




**1・加熱が必要**

$MnO_2$ を酸化剤として使用しているため，加熱が必要である。(→第９講 PART 1)

**2・洗気ビン**

$MnO_2$ と濃塩酸の反応後，目的の気体である $Cl_2$ に $H_2O$（生成物）と HCl( 揮発性 ) が混じっているため，それらを取り除くための洗気ビンを使用する。

洗気ビン１（$H_2O$）: 水に非常によく溶け，揮発性の HCl を取り除く。

洗気ビン２（濃硫酸）: 乾燥剤の濃硫酸で水蒸気を取り除く。

※ $Cl_2$ に水蒸気が混じってしまうため，洗気ビン１と洗気ビン２の順番を入れ替えてはいけない。

**3・捕集方法**

$Cl_2$ は水溶性で空気より重いため，下方置換で捕集する。(→第９講 PART 2)

まとめ

・塩素の実験室的製法では，得られる混合気体から，水で（　　　　　）を，濃硫酸で（　　　　　）を取り除く。

# Chapter4　演習問題

問　次の性質をもつハロゲンの単体またはハロゲン化水素を化学式で答えよ。

(1)　水と反応すると酸素が発生する。

(2)　水には溶解しないがヨウ化カリウム水溶液には溶解する。

(3)　電離度が小さい弱酸である。

# 第10講 PART1 確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1) 次の①～④のハロゲンの単体のうち，常温常圧で液体のものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $F_2$　　② $Cl_2$
③ $Br_2$　　④ $I_2$

(2) 次の①～④のハロゲンの単体のうち，黄緑色のものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $F_2$　　② $Cl_2$
③ $Br_2$　　④ $I_2$

(3) ハロゲンの単体には酸化力があるが，ハロゲンの単体の酸化力の強さを表しているものとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$　　② $F_2 < Cl_2 < Br_2 < I_2$
③ $F_2 = Cl_2 = Br_2 = I_2$

(4) 次の①～④のハロゲンの単体のうち，$H_2O$ と反応しないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $F_2$　　② $Cl_2$
③ $Br_2$　　④ $I_2$

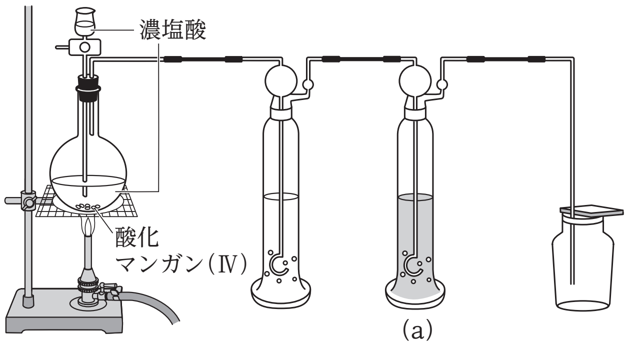
(5) 次の①～④のハロゲン化水素のうち，沸点が最も低いものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① HF　　② HCl
③ HBr　　④ HI

⑹　次の①～④のハロゲン化水素のうち，ポリエチレン容器に保存する必要があるものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　HF　　②　HCl
③　HBr　　④　HI

⑺　酸化マンガン(Ⅳ)と濃塩酸から $Cl_2$ をつくる場合，下の図のような装置が用いられる。




酸化マンガン(Ⅳ)と濃塩酸の反応では，生成した $Cl_2$ に $H_2O$ と HCl が混じっているため，これらを取り除くための 2 つの洗気ビンを使用する。この洗気ビンのうち，図の⒜に入れる液体として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　水　　②　濃硝酸
③　希硫酸　　④　濃硫酸

# PART2　酸素

目標　・酸化物とオキソ酸をしっかりと押さえよう！

## Chapter1　酸素の単体

要点

酸素の単体

酸素とオゾンは同素体であり，性質が全く異なる。

### ◆ 酸素の単体　重要

$O_2$ と $O_3$ は同素体である。どんな違いがあるかを復習しておこう。

酸素 $O_2$

・無色無臭

・空気中で $N_2$ に次いで多い

・実験室的製法（→第９講 PART １）

$H_2O_2$+$MnO_2$（触媒）

または $KClO_3$+$MnO_2$（触媒）

オゾン $O_3$

・淡青色特異臭

・酸化力が強く KI デンプン紙を青変

・実験室的製法

$O_2$ 中で紫外線照射，または無声放電

$$3O_2 \rightarrow 2O_3$$

まとめ

酸素 $O_2$

・（　　　）色（　　　）臭

・空気中で（　　　）に次いで多い

オゾン $O_3$

・（　　　）色（　　　）臭

・（　　　　　　　）を青変

# Chapter2　酸化物

要点

**酸化物**

酸性酸化物（非金属元素の酸化物）

塩基性酸化物（金属元素の酸化物）

両性酸化物（両性金属の酸化物）

## ◆ 酸化物　重要

酸化物は以下の 3 つに大別できる。

**酸性酸化物（非金属元素の酸化物）**

水と反応して酸（オキソ酸）を生じたり，塩基と反応して塩を生じる。

例　$CO_2$

$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

**塩基性酸化物（金属元素の酸化物）**

水と反応して塩基（水酸化物）を生じたり，酸と反応して塩を生じる。

例　$CaO$

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

**両性酸化物（両性金属の酸化物）**

酸とも強塩基とも反応する酸化物。（両性金属：Al，Zn，Sn，Pb など）

例　$Al_2O_3$

$Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$

$Al_2O_3 + 2NaOH + 3H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4]$

まとめ

・酸化物の種類

酸性酸化物：(　　　　　　）元素の酸化物

塩基性酸化物：(　　　　　）元素の酸化物

両性酸化物：(　　　　　）金属の酸化物

# Chapter3　オキソ酸

要点

オキソ酸

酸素原子をもつ酸。酸性酸化物と水の反応によって生じる。

## ◆ オキソ酸 重要

酸素原子をもつ酸を**オキソ酸**という。

例　$H_2SO_4$・$HNO_3$・$HClO_4$

酸性酸化物が水と反応して生じる酸はほとんどがオキソ酸である。

例　$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$

$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

同一元素のオキソ酸の酸の強弱

中心原子の酸化数が大きいものほど酸性が強い。

例　$H_2\underset{+6}{S}O_4$(強酸)，$H_2\underset{+4}{S}O_3$(弱酸)

まとめ

・酸素原子をもつ酸を（　　　　　　）という。

（　　　　）酸化物と水が反応して生じる酸のほとんどが，この酸である。

# Chapter4　演習問題

問　次の酸化物を「酸性酸化物」「塩基性酸化物」「両性酸化物」に分けよ。

$Na_2O$　$N_2O_5$　$CuO$　$Cl_2O_7$　$ZnO$

< Note >

# 第10講　PART2　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　オゾンの色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　無色　　②　淡黄色
③　淡青色　　④　赤褐色

(2)　酸素とオゾンのうち，酸化力が強く，湿らせたヨウ化カリウムデンプン紙を青変させるものはどちらか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　酸素　　②　オゾン

(3)　次の①～④の酸化物のうち，酸性酸化物はどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$Na_2O$　　②　$MgO$
③　$ZnO$　　④　$SO_3$

(4)　次の①～④の酸化物のうち，両性酸化物はどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$P_4O_{10}$　　②　$CaO$
③　$Al_2O_3$　　④　$CO_2$

(5)　次の①～④の酸のうち，オキソ酸でないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$H_2CO_3$　　②　$HCl$
③　$H_2SO_4$　　④　$HNO_3$

(6) 次の①～④のオキソ酸のうち，酸性が最も強いものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① HClO　　② $HClO_2$

③ $HClO_3$　　④ $HClO_4$

# PART3　硫黄

目標　・硫黄の単体，化合物の性質と反応を押さえよう！

## Chapter1　硫黄の単体

要点

硫黄の単体

代表的な硫黄の同素体に「斜方硫黄」「単斜硫黄」「ゴム状硫黄」がある。

### ◆ 硫黄の単体　重要

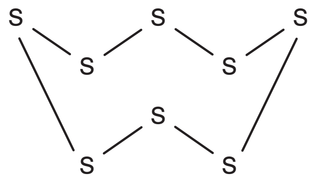
3 つの代表的な硫黄の同素体について，それらの性質の違いを確認していこう。

斜方硫黄 $S_8$

・黄色の王冠型分子

・常温で安定

・二硫化炭素 $CS_2$ に溶解




単斜硫黄 $S_8$

・黄色の王冠型分子

・高温で安定

・斜方硫黄と比べて密度が小さい

（高温で熱運動が激しく，分子間距離が大きくなり体積が増加するため）

ゴム状硫黄 $S_x$

・弾性をもつ無定形固体

・不安定

・硫黄の融解液を加熱し，水中に流し込んで急冷すると得られる

まとめ

・硫黄の同素体には，常温で安定な (　　　　) 硫黄，高温で安定な (　　　　) 硫黄，不安定な（　　　　）硫黄がある。

# Chapter2　濃硫酸・希硫酸

要点

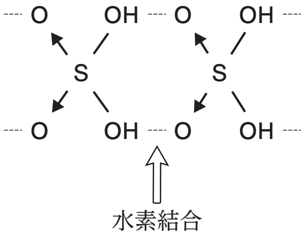
濃硫酸・希硫酸

濃硫酸：吸湿性・脱水性・溶解熱が大きい

希硫酸：強酸性

### ◆ 濃硫酸　重要

濃硫酸は濃度が約 98％の硫酸水溶液のことである。分子同士が多くの水素結合を形成しているため，粘性・密度が大きく，沸点が高い（不揮発性）液体である。




また，水が約２％しか存在しないため，ほとんど電離していない。

濃硫酸の性質

**吸湿性**

吸湿性があるため乾燥剤として利用されている。

**脱水性**

他の物質から水をつくり出して奪う（H：O=2：1 で奪う）性質を脱水性という。

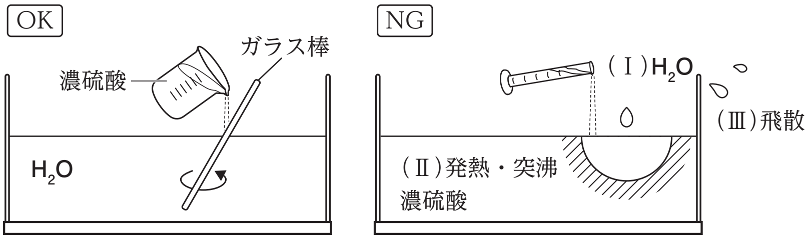
例　ショ糖の炭化

$C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow 11H_2O + 12C$

**溶解熱が大きい**

濃硫酸が水に溶解するとき，多量の熱が発生する。

そのため，希硫酸を作るときは，水を攪拌しながら濃硫酸を少量ずつ加える。




### ◆ 希硫酸 重要

希硫酸は濃度が小さく十分な水が存在するため電離しており，**強酸性**である。

**まとめ**

・濃硫酸の性質

（　　　　）性・（　　　　）性・（　　　　　）が大きい

・希硫酸の性質

（　　　　）性

## Chapter3　濃硫酸の工業的製法

**要点**

濃硫酸の工業的製法

二酸化硫黄を原料にした接触法で合成する。

### ◆ 濃硫酸の工業的製法 重要

濃硫酸を工業的に合成する方法は $SO_2$ を原料とした**接触法**といわれる方法である。

$SO_2$ は黄鉄鋼 $FeS_2$ や硫黄を燃焼させて得られたものを使用する。

$4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$

$S + O_2 \rightarrow SO_2$

**接触法の流れ**

(1) **酸化バナジウム(Ⅴ)$V_2O_5$ 触媒存在下で $SO_2$ を $O_2$ で酸化する。**

$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$

(2) **(1)で得られた $SO_3$ を $H_2O$ と反応させて $H_2SO_4$ をつくる。**※

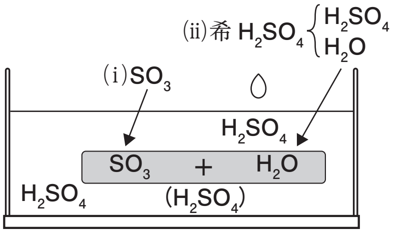
$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$

※実際の手順

(2)の反応自体は単純だが，手順は少し複雑である。

手順(i)：$SO_3$ を濃硫酸に吸収させる。(発煙硫酸)

手順(ii)：発煙硫酸に希硫酸を加える。




まとめ

・濃硫酸は（　　　　　）を原料とした（　　　　　）で合成する。

## Chapter4　演習問題

問　次の反応の中で，$H_2SO_4$ が希硫酸であるものを一つ選べ。

(1)　$Zn + H_2SO_4 \rightarrow H_2 + ZnSO_4$

(2)　$NaCl + H_2SO_4 \rightarrow HCl + NaHSO_4$

(3)　$Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$

# 第10講 PART3 確認問題

問 1　代表的な硫黄の同素体には，斜方硫黄，単斜硫黄，ゴム状硫黄がある。斜方硫黄と単斜硫黄は，ともに分子式（　ア　）で表される黄色の王冠型分子であるが，単斜硫黄は斜方硫黄よりも密度が（　イ　）。ゴム状硫黄は弾性をもつ無定形固体であり，硫黄の融解液を加熱して水中に流し込み，急冷することで得られる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$S_5$　　②　$S_6$

③　$S_7$　　④　$S_8$

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　大きい　　②　小さい

(3)　斜方硫黄，単斜硫黄，ゴム状硫黄のうち，常温で安定なものはどれか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　斜方硫黄　　②　単斜硫黄

③　ゴム状硫黄

**問2** 濃硫酸は，工業的には接触法によりつくられる。接触法では，(a)触媒存在下で原料の（　ア　）を酸化し，得られた（　イ　）を $H_2O$ と反応させることで，$H_2SO_4$ を合成している。

(1) 文中の下線部(a)について，該当する触媒として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 十酸化四リン　② 酸化バナジウム(V)
③ 四酸化三鉄　④ 白金

(2) 文中の（　ア　）に当てはまる化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $FeS_2$　② $CS_2$
③ $SO_2$　④ $SO_3$

(3) 文中の（　イ　）に当てはまる化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $H_2S$　② $SO_2$
③ $H_2SO_3$　④ $SO_3$

(4) 次の①～④のうち，濃硫酸の性質に該当しないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① 脱水性　② 強酸性
③ 吸湿性　④ 溶解熱が大きい

# PART4　窒素

目標　・窒素の代表的な化合物である硝酸の性質や反応を押さえよう！

## Chapter1　硝酸

要点

硝酸

無色・揮発性の強酸，感光性がある。（褐色ビン・冷暗所保存）

### ◆ 硝酸　重要

硝酸は無色の液体で，すでに学んでいる通り代表的な強酸，酸化剤である。

その他に以下のような性質がある。

**揮発性**

揮発性の酸であるため，実験室では揮発性の酸遊離反応を利用して合成する。

（硝酸ナトリウムに濃硫酸を加えて加熱）

$NaNO_3 + H_2SO_4 \rightarrow HNO_3 + NaHSO_4$

**感光性**

光や熱で分解が起こり，$NO_2$ に変化する（無色から黄褐色に変化）。そのため，硝酸は褐色ビンに入れ，冷暗所に保存する。

$4HNO_3 \rightarrow 4NO_2 + 2H_2O + O_2$

まとめ

・硝酸は（　　　　）性があるため褐色ビンに保存する。

# Chapter2　硝酸の工業的製法

要点

硝酸の工業的製法

アンモニアを原料にしたオストワルト法で合成する。

## ◆ 硝酸の工業的製法　重要

硝酸を工業的に合成する方法は，$NH_3$ を原料とした**オストワルト法**といわれる方法である。

$NH_3$ は $N_2$ と $H_2$ を 1：3 で混合した気体を，$Fe_3O_4$ 触媒下で高温高圧で反応させる**ハーバー・ボッシュ法**で合成したものを使用する。

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$$

オストワルト法の流れ

(1)　**白金 Pt 触媒存在下で $NH_3$ を 800℃で燃焼させる。**

(Pt 触媒が無いと $N_2$ に変化)

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O \cdots ①$$

(2)　**(1)で得られた NO を空気と接触させて $NO_2$ にする。**

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 \cdots ②$$

(3)　**(2)で生じた $NO_2$ を温水に溶かして $HNO_3$ にする。**

**(副産物の NO は(2)へ再利用)**

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO \cdots ③$$

以上，(①+②× 3 +③× 2）$\times\frac{1}{4}$より

$$NH_3 + 2O_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O$$

(NO は再利用するため，最終的な式からは消えているのがわかる)

原料の $NH_3$ と生成する $HNO_3$ の mol 比が 1 ： 1 になることを意識しておこう！

まとめ

・硝酸は（　　　　　）を原料とした（　　　　　　　　　　）で合成する。

# Chapter3　演習問題

**問**　オストワルト法で硝酸を合成するとき，3.40kg のアンモニア ( 分子量 17) から得られる硝酸（分子量 63）は最大何 kg か。有効数字 3 桁で答えよ。ただし，オストワルト法は次の 3 つの反応式で表される。

$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$

$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$

$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$

## < Note >

# 第10講　PART4　確認問題

問 1　硝酸は，工業的製法にはオストワルト法によりつくられる。オストワルト法は $NH_3$ を原料として，次のような流れで行われる。

(i)　(a)触媒存在下で $NH_3$ を 800℃で燃焼させる。

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O$$

(ii)　(i)で得られた NO を空気と接触させて $NO_2$ にする。

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

(iii)　(ii)で生じた $NO_2$ を温水に溶かして $HNO_3$ にする。

$$3NO_2 + H_2O \rightarrow 2HNO_3 + NO$$

(1)　文中の下線部(a)について，該当する触媒として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　四酸化三鉄　　②　十酸化四リン
③　白金　　④　酸化バナジウム(V)

(2)　オストワルト法において，原料の $NH_3$ と生成する $HNO_3$ の mol 比はどのようになるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，mol 比は「原料の $NH_3$：生成する $HNO_3$」で表しているものとする。

①　1：1　　②　1：2
③　2：1　　④　3：1

(3)　次の①～④のうち，硝酸の性質に該当しないものはどれか。

①　揮発性　　②　感光性
③　強酸性　　④　還元性

(4) オストワルト法で硝酸を合成するとき，31.5kg の硝酸を得るために理論上必要なアンモニアは，最小で何 kg か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，原子量は H：1.0，N：14，O：16 とする。

① 4.25kg　　② 8.50kg

③ 17.0kg　　④ 25.5kg

# PART5　リン

目標　・リンの単体や化合物の性質や反応を押さえよう！

## Chapter1　リンの単体

要点

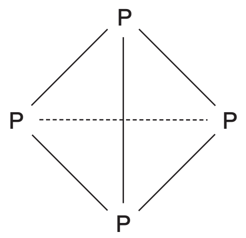
リンの単体

リンの単体には，同素体（黄リン・赤リン）が存在する。

### ◆ リンの単体　重要

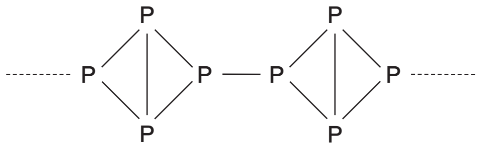
リンの単体には同素体が存在する。

**黄リン**（$P_4$）




- 淡黄色の固体
- 空気中で自然発火（→水中保存）
- 猛毒
- 湿った空気中で青白く光る（リン光）
- 二硫化炭素 $CS_2$ に溶解
- リン鉱石（主成分 $Ca_3(PO_4)_2$）にケイ砂 $SiO_2$ とコークス C を加えて強熱すると得られる

**赤リン**（P）




- 暗赤色の粉末
- マッチの側薬に利用されている
- 空気を遮断して黄リンを約 250℃に加熱すると得られる
（空気と接すると十酸化四リン $P_4O_{10}$ に変化）

まとめ

・リンの単体には（　　　　　）が存在する。その中で，空気中で自然発火するため水中保存するのは，（　　　　　）である。

# Chapter2　リンの化合物

要点

リンの化合物

代表的な化合物に十酸化四リン $P_4O_{10}$，リン酸 $H_3PO_4$，過リン酸石灰などがある。

## ◆ リンの化合物 重要

**十酸化四リン $P_4O_{10}$**

・リンの単体を空気中で燃焼させると生じる

$4P + 5O_2 \rightarrow P_4O_{10}$

・吸湿性・脱水性が強い（乾燥剤として使用）

・水を加えて加熱するとリン酸 $H_3PO_4$ が得られる

$P_4O_{10} + 6H_2O \rightarrow 4H_3PO_4$

**リン酸 ($H_3PO_4$)**

・中くらいの強さの酸（弱酸の中では強い）で，３段階で電離

$H_3PO_4 \rightleftarrows H^+ + H_2PO_4^-$

$H_2PO_4^- \rightleftarrows H^+ + HPO_4^{2-}$

$HPO_4^{2-} \rightleftarrows H^+ + PO_4^{3-}$

**過リン酸石灰**

・リン鉱石 ( 主成分 $Ca_3(PO_4)_2$）に適量の硫酸を反応させると得られる肥料

（リン酸二水素カルシウム $Ca(H_2PO_4)_2$ と硫酸カルシウム $CaSO_4$ の混合物）

リン P は肥料の三要素の一つで，根の生育に必要である。

$Ca_3(PO_4)_2 + 2H_2SO_4 \rightarrow Ca(H_2PO_4)_2 + 2CaSO_4$

まとめ

・リンの単体を空気中で燃やすと（　　　　　　　　　　　　）が得られ，これを水に加えて加熱すると（　　　　　　　　）となる。
　また，リン鉱石に適量の硫酸を反応させて得られる肥料を（　　　　　　　　）という。

## Chapter3　演習問題

問　次の①～⑤のうちで，黄リンの性質として適切ではないものを一つ選びなさい。

①　猛毒のため取り扱いに注意が必要である。

②　マッチの側薬として利用されている。

③　空気中で自然発火するため，水中で保存する。

④　リン鉱石にケイ砂とコークスを加えて加熱すると得られる。

⑤　湿った空気中で青白く光る。

< Note >

# 第10講　PART5　確認問題

問1　リンの単体には，黄リンと赤リンという同素体が存在する。黄リンは化学式（　ア　）で表される（　イ　）色の固体で，(a)空気中で自然発火する性質をもつ。一方，赤リンは暗赤色の粉末で，マッチの側薬に利用されている。赤リンを得るには，空気を遮断した状態で，黄リンを約（　ウ　）℃に加熱すればよい。ちなみに，リンの化合物の1つにリン酸があるが，リン酸は（　エ　）に水を加えて加熱することで得られる。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：P　　イ：淡黄　　②　ア：P　　イ：淡緑
③　ア：$P_4$　　イ：淡黄　　④　ア：$P_4$　　イ：淡緑

(2)　文中の下線部 (a) について，黄リンは空気中で自然発火することから，どこに保存しておく必要があるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　水　　②　二硫化炭素
③　石油

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　50　　②　150
③　250　　④　350

(4)　文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　黄リン　　②　十酸化四リン
③　赤リン　　④　過リン酸石灰

(5) 黄リンと赤リンのうち，湿った空気中で青白く光るのはどちらか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 黄リン ② 赤リン

# PART6　ケイ素

目標　・ケイ素の単体や化合物の性質や反応を押さえよう！

## Chapter1　ケイ素の単体・二酸化ケイ素

要点

ケイ素の単体 Si・二酸化ケイ素 $SiO_2$

[1] 酸素 O に次いで地殻中に多く含まれる元素

[2] 単体（Si）：半導体としての性質をもつ

二酸化ケイ素（$SiO_2$）：天然に，石英・水晶・ケイ砂などとして存在している

### ◆ ケイ素の単体と二酸化ケイ素　重要

ケイ素 Si は，酸素 O に次いで地殻中に多く含まれる元素である。

**単体**（Si）

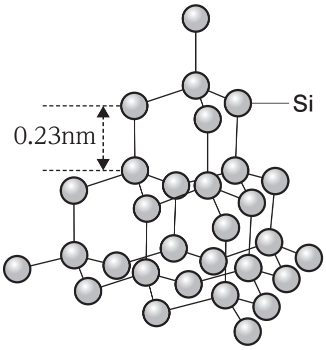
・ダイヤモンドの C 原子を Si 原子に置き換えた構造（ダイヤモンド型）の共有結合の結晶

・半導体としての性質をもつ

高純度の単体の結晶は，電気をわずかに通すため，半導体としてコンピューターなどに利用されている

・ケイ砂 $SiO_2$ にコークス C を加えて強熱すると得られる（天然に単体は存在していない）

$SiO_2 + 2C \rightarrow Si + 2CO$

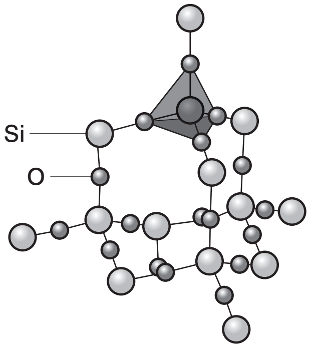



**二酸化ケイ素**（$SiO_2$）

・天然に石英・水晶・ケイ砂などとして多量に存在

・単体のケイ素の Si−Si 結合の間に酸素 O 原子が入った構造の共有結合の結晶

・光の透過率が高いため，光ファイバーとして利用



まとめ

・ケイ素の単体は（　　　　　）としての性質をもち，コンピューターなどに利用される。また，二酸化ケイ素は光の透過率が高いため，（　　　　　　　）として利用される。

# Chapter2　その他のケイ素化合物

要点

その他のケイ素化合物

二酸化ケイ素 $SiO_2$ を原料にしてシリカゲルをつくることができる。

## ◆ その他のケイ素化合物　重要

二酸化ケイ素 $SiO_2$ は水に不溶だが，酸性酸化物であるため，水酸化ナトリウム NaOH や炭酸ナトリウム $Na_2CO_3$ とともに融解すると反応し，ケイ酸ナトリウム $Na_2SiO_3$ を生じる。

$$SiO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SiO_3 + H_2O$$
$$SiO_2 + Na_2CO_3 \rightarrow Na_2SiO_3 + CO_2$$

$Na_2SiO_3$ はイオン結晶だが，高分子であるため水に溶解しにくい。水を加えて耐圧容器中で加熱すると，無色透明で粘性の大きい**水ガラス**(ガラスの接合剤や防火剤の原料として利用)が得られる。

水ガラスの水溶液に酸を加えると，ケイ酸 $H_2SiO_3$ がゲル状沈殿として生成し，これを乾燥させたものがシリカゲルである。

シリカゲルは多孔質（微細な空間を多数もつ）である。また，ヒドロキシ基−OH を多数もつため，水素結合により水やアンモニアを吸着する。そのため，乾燥剤や脱臭剤として利用されている。

まとめ

・ケイ酸ナトリウムに水を加えて加熱することで得られる，粘性の大きい（　　　　　　）に酸を加えて乾燥させたものが，（　　　　　　　）である。これは，多孔質であり，（　　　　　　　　）を多数もつため，乾燥剤や脱臭剤として利用される。

## Chapter3　演習問題

問　次の①～⑤のうちで，誤っているものを一つ選びなさい。

①　ケイ素は，酸素に次いで地殻中に多く含まれる元素である。

②　二酸化ケイ素は，半導体として利用されている。

③　二酸化ケイ素は，石英・水晶・ケイ砂などとして天然に存在している。

④　ケイ酸ナトリウムに水を加えて，耐圧容器中で加熱すると，水ガラスが得られる。

⑤　シリカゲルは，乾燥剤や脱臭剤として利用されている。

## < Note >

# 第10講　PART6　確認問題

問1　ケイ素は（　ア　）に次いで地殻中に多く含まれる元素である。ケイ素の単体 Si は，ダイヤモンド型の共有結合の結晶で，（　イ　）としての性質をもつ。ケイ素の単体は天然には存在せず，ケイ砂にコークスを加え，強熱することで得られる。

一方，二酸化ケイ素 $SiO_2$ は天然に存在しており，光の透過率が高く，光ファイバーとして利用されている。(a) シリカゲルは，この二酸化ケイ素を原料にしてつくられたものである。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　O　　②　Al
③　Fe　　④　Ca

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　導体　　②　半導体
③　不導体

(3)　文中の下線部 (a) について，次の①～④のうち，シリカゲルの性質に該当しないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

a. 多孔質である。
b. アミノ基を多数もつ。
c. 乾燥剤として利用される。
d. 脱臭剤として利用される。

①　a　　②　b
③　c　　④　d

⑷　ケイ素化合物の１つにケイ酸ナトリウムがあるが，ケイ酸ナトリウムに水を加えて加熱することで得られる，粘性の大きい液体を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　石英　　②　石英ガラス

③　水ガラス　　④　水晶

# 第 11 講　金属の単体の反応
# PART1　金属のイオン化傾向

目標　・イオン化列と金属の単体の反応をしっかりと押さえよう！

## Chapter1　金属のイオン化傾向

**要点**

金属のイオン化傾向

金属の単体が水中で電子を放出して陽イオンになる性質。

### ◆ 金属のイオン化傾向　重要

金属の単体が水中で電子を放出して陽イオンになる性質を**金属のイオン化傾向**という。

$$M \rightarrow M^{n+} + ne^-$$

イオン化傾向の大きい金属から順に並べたものが**金属のイオン化列**である。

「イオン化傾向㊅ ＝ 電子を放出する性質㊬ ＝ 強い還元剤」と考えることができる。

**金属のイオン化列**

| リッチに | 貸そう | か | な。 | ま | あ, | あ | て | に | すん | な。 | ひ | ど | す | ぎる | 借 | 金。 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Li | K | Ca | Na | Mg | Al | Zn | Fe | Ni | Sn | Pb | ($H_2$) | Cu | Hg | Ag | Pt | Au |

㊠ 大　強い還元力　　　　小　弱い還元力

イオン化傾向の異なる金属が存在するとき，イオン化傾向の大きい金属が電子を放出して陽イオンとなり，小さい金属がその電子を受け取る。

**例**　$Cu^{2+}$ を含む水溶液に Zn の単体を加えると Cu の単体が析出する

$$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$$

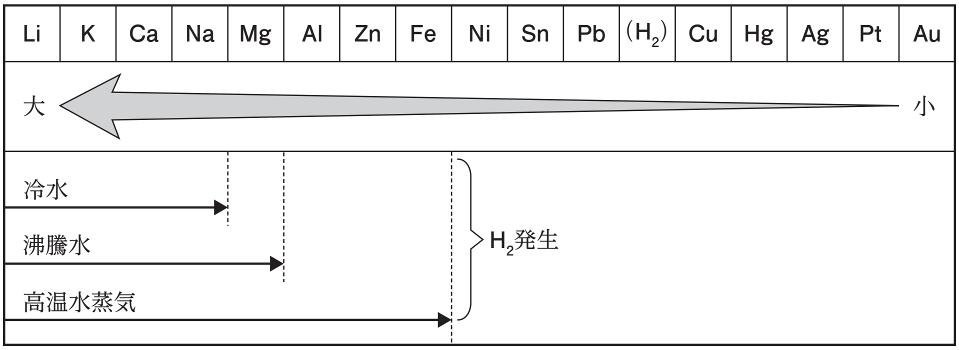
まとめ

・金属の単体が水中で電子を放出して陽イオンになる性質を金属の（　　　　　　　）という。また，イオン化傾向の大きい金属から順に並べたものを金属の（　　　　　　　）という。

# Chapter2　金属の単体と水の反応

要点

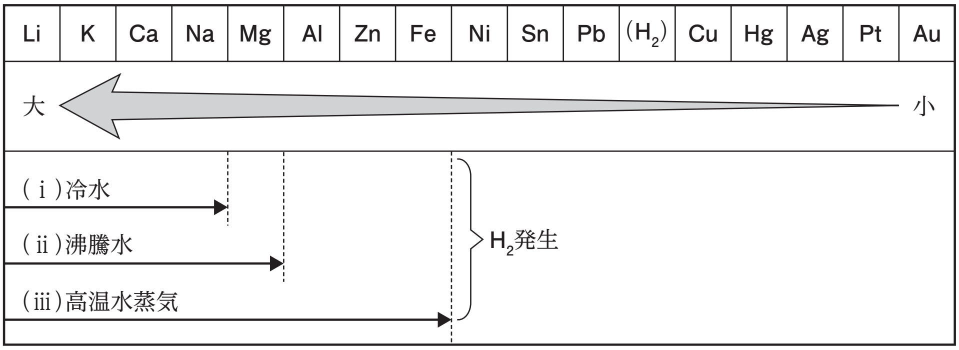
金属の単体と水の反応




## ◆ 金属の単体と水の反応　重要

水は電離度が小さく，電離により生じる $H^+$（酸化剤）はわずかである。すなわち，水は弱い酸化剤である。

よって，水と反応できるのは，強い還元剤であるイオン化傾向の大きい金属である。また，反応すると，水が電子を受け取り $H_2$ が発生する。




上記の表の境界線は知っておく必要があるため，しっかりと頭に入れておこう。

(i)　**冷水と反応【イオン化列 Li ～ Na】**

冷水（常温の水）と反応できるのは，イオン化傾向が極めて大きい金属のみである。

**例**　Na と冷水の反応

$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$

(ii)　**沸騰水（熱水）と反応【イオン化列 Li ~ Mg】**

沸騰水（熱水）と反応するのは Mg である。

(iii)　**高温水蒸気と反応【イオン化列 Li ~ Fe】**

高温水蒸気のみと反応するのはイオン化列 Al ~ Fe である。

高温であるため，生成物は酸化物となる。（水酸化物から脱水が起こって生じる）

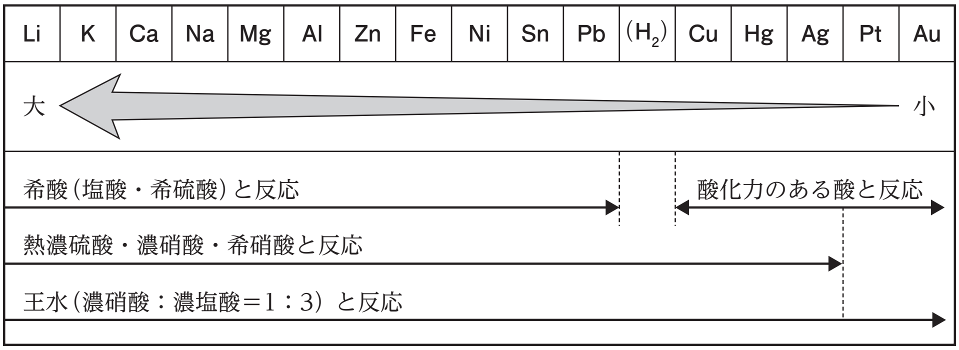
**まとめ**

・金属の単体と水の反応
- ・冷水（常温の水）と反応 → イオン化列 Li ~（　　　　）
- ・沸騰水と反応　→ イオン化列 Li ~（　　　　）
- ・高温水蒸気と反応 → イオン化列 Li ~（　　　　）

# Chapter3　金属の単体と酸の反応

**要点**

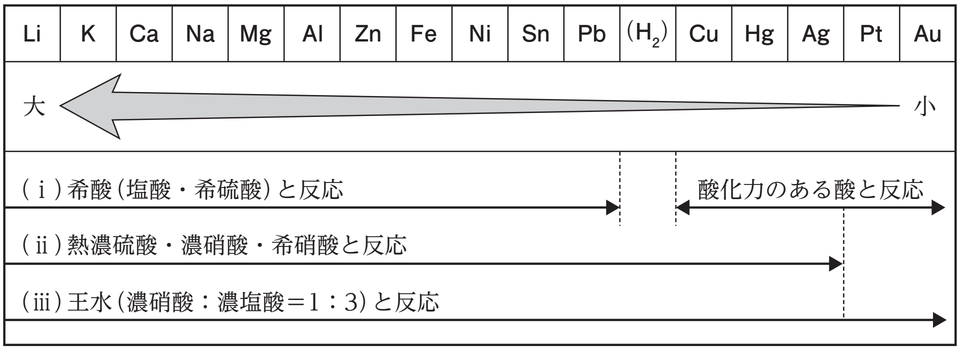
金属の単体と酸の反応




## ◆ 金属の単体と酸の反応　重要

水とは異なり，酸の水溶液には十分な $H^+$ が存在するため，イオン化傾向が $H_2$ より大きい金属は酸の $H^+$ と反応して $H_2$ が発生する。

また，イオン化傾向が $H_2$ より小さい金属は $H^+$ とは反応できないが，酸化力をもつ酸であれば反応する。




(i)　**希酸 $H^+$( 塩酸・希硫酸 ) と反応【イオン化列 Li ~ Pb*】**

イオン化傾向が $H_2$ より大きいため，$H^+$ と反応して $H_2$ が発生する。

**例**　鉄＋希硫酸

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2$$

＊ただし，Pb は塩酸と反応すると $PbCl_2$，希硫酸と反応すると $PbSO_4$ の沈殿を生じるため，反応がすぐに停止する（事実上反応しない）。

(ii)　**酸化力の強い酸（熱濃硫酸・濃硝酸・希硝酸 ) と反応【イオン化列 Li ~ Ag】**

イオン化傾向が $H_2$ より小さい金属は，強い酸化力をもつ酸となら反応する。イオン化傾向が Ag 以上の金属は，熱濃硫酸・濃硝酸・希硝酸と反応し，それぞれ $SO_2$・$NO_2$・NO が発生する。

**例**　銅＋熱濃硫酸

$Cu + 2H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$　（酸化還元反応式のつくり方を復習しておこう）

ただし，Fe・Ni・Al は不動態となるため，濃硝酸に不溶である。

(iii)　**酸化力の強い酸（王水 ) と反応【イオン化列 Li ~ Au】**

王水とは，濃硝酸と濃塩酸を１：３で混合したもので，非常に酸化力が強い溶液である。イオン化傾向が非常に小さい Pt と Au は王水としか反応しない。

**まとめ**

・金属の単体と酸の反応

・希酸（塩酸・希硫酸）と反応 → イオン化列 Li ～（　　　）

沈殿となり事実上反応しない

・熱濃硫酸・濃硝酸・希硝酸と反応　→ イオン化列 Li ～（　　　）

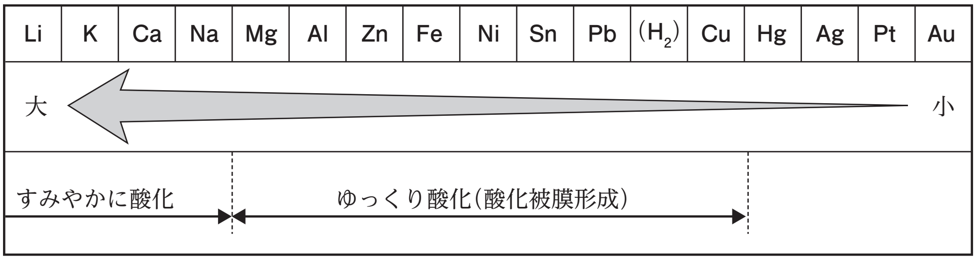
ただし，（　　　）（　　　）（　　　）は不動態となるため濃硝酸と反応しない。

・王水と反応 → イオン化列 Li ～（　　　）

## Chapter4　金属の単体と空気の反応

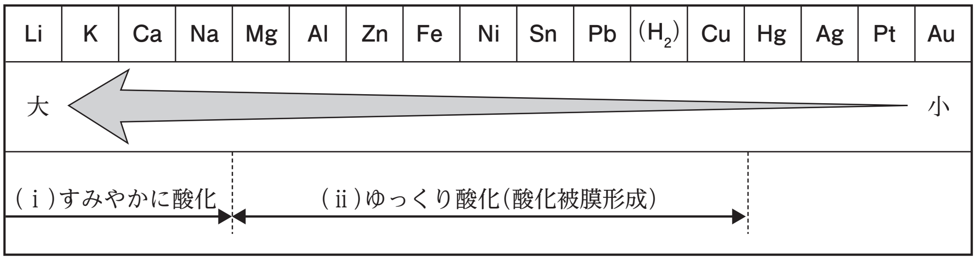
**要点**

金属の単体と空気（常温）の反応




### ◆ 金属の単体と空気($O_2$)の反応 重要

空気中（常温）に存在する酸素 $O_2$ との反応である。




(i)　**すみやかに酸化【イオン化列 Li ～ Na】**

$O_2$ は非常に弱い酸化剤であるため，常温ですみやかに反応するのはイオン化傾向の大きい金属で，イオン化傾向 Na 以上の金属である。

(ii)　**ゆっくり酸化（酸化被膜形成）【イオン化列 Mg ～ Cu】**

ゆっくり酸化が進むのはイオン化傾向 Mg から Cu までの金属である。

まとめ

・金属の単体と空気（常温）の反応

・すみやかに酸化 → イオン化列 Li ～（　　　　）

・ゆっくり酸化（酸化被膜形成） → イオン化列 Mg ～（　　　　）

## Chapter5　演習問題

**問**　(1)～(3)に当てはまる金属として適切なものを，それぞれ 1 つずつ選べ。ただし，同じ金属を繰り返し選んではいけない。

(1)　常温の水と反応する。

(2)　希硫酸と反応するが濃硝酸には溶けない。

(3)　希硫酸とは反応しないが熱濃硫酸とは反応する。

金属：Na・Al・Zn・Cu・Pt

# 第 11 講 PART1 確認問題

問 1 次の問いに答えよ。

(1) $Zn^{2+}$を含む水溶液にある金属の単体を加えると，Zn の単体が析出した。このとき，加えた金属の単体として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① Al ② Fe
③ Pb ④ Cu

(2) 次の①～④の金属のうち，冷水（常温の水）とは反応しないが，沸騰水とは反応するものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① Na ② Mg
③ Fe ④ Sn

(3) 次の①～④の金属のうち，希硫酸とは反応しないが，熱濃硫酸とは反応するものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① Mg ② Zn
③ Sn ④ Ag

(4) 次の①～④の金属のうち，濃硝酸と反応しないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① K ② Mg
③ Fe ④ Cu

(5) 次の①～④の金属のうち，常温で空気（$O_2$）と反応しないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① Ca ② Ni
③ Cu ④ Ag

< Note >

第12講　沈殿と無機反応

# PART1　沈殿生成反応と沈殿の色

目標　・沈殿生成反応を理解し，代表的な沈殿と，その色を押さえていこう！

## Chapter1　沈殿生成反応

要点

沈殿生成反応

溶解度積の小さいイオン結晶が沈殿する反応。

### ◆ 沈殿生成反応　重要

イオン結晶の物質は，基本的に水中で電離して溶解する。しかし，ある特定のイオン結晶は水に溶解しない。そのイオン結晶とは，溶解度積 $K_{sp}$ の小さいイオン結晶である。

例　NaCl（$K_{sp} \fallingdotseq 10^{2}$）水に溶解

AgCl（$K_{sp} \fallingdotseq 10^{-10}$）水に溶解しない→沈殿

沈殿する組み合わせは，考えてわかるものではないため，しっかりと頭に入れておこう。ここでは，「基本的に沈殿しないイオン」「基本的に沈殿するイオン」に分けて確認していく。

### ◆ 沈殿しないイオン　重要

「基本的に沈殿しないイオン」を確認する。中には例外的な組み合わせ（沈殿する組み合わせ）が存在するため，その組み合わせを頭に入れていこう。

(1)　$NH_4^+$・アルカリ金属イオン

(2)　強酸由来のイオン

・$NO_3^-$

・$Cl^-$【例外】$Pb^{2+}$・$Ag^+$は沈殿する

・$SO_4^{2-}$【例外】$Pb^{2+}$・Be，Mg を除くアルカリ土類金属イオンは沈殿する

## ◆ 沈殿するイオン　重要

「基本的に沈殿するイオン」を確認する。中には例外的な組み合わせ（沈殿しない組み合わせ）が存在するため，その組み合わせを頭に入れていこう。

(1) $OH^{-}$・$O^{2-}$ 【例外】アルカリ金属イオン・Be，Mg を除くアルカリ土類金属イオン

(2) **弱酸由来の多価イオン**

・$CO_3^{2-}$・($CrO_4^{2-}$)・($SO_3^{2-}$)【例外】$NH_4^+$・アルカリ金属イオンは沈殿しない

・$S^{2-}$【例外】イオン化傾向 Al 以上のイオンは沈殿しない

注意　$Ag^+$ と $OH^-$からなる沈殿 (AgOH) は，常温で脱水が起こり $Ag_2O$ として析出

$2AgOH \rightarrow Ag_2O + H_2O$

以上を「沈殿する組み合わせ」に注目してまとめると，以下のようになる。

・$Cl^-$ → $Pb^{2+}$・$Ag^+$

・$SO_4^{2-}$ → $Pb^{2+}$・Be，Mg を除くアルカリ土類金属イオン
（$Ca^{2+}$，$Sr^{2+}$，$Ba^{2+}$(，$Ra^{2+}$)）

・$OH^-$・$O^{2-}$ → アルカリ金属イオン・Be，Mg を除くアルカリ土類金属イオンの水酸化物・Be を除くアルカリ土類金属のイオンの酸化物以外

・$CO_3^{2-}$ → $NH_4^+$・アルカリ金属イオン以外

・$S^{2-}$ → イオン化傾向 Zn 以下のイオン

注意　これらの沈殿は**強酸性にすると溶解**する。
【例外】$Cl^-$，$SO_4^{2-}$，$S^{2-}$（イオン化傾向 Sn 以下のイオンの沈殿）は強酸性にしても溶解しない

まとめ

・沈殿する組み合わせ

・$Cl^-$ → (　　　　) ・ (　　　　)

・$SO_4^{2-}$ → (　　　　) ・ (　　　　　　　　　　　　　　　)

・$OH^-$ ・ $O^{2-}$ → (　　　　　　　　　) ・

(　　　　　　　　　　　　　　　) の水酸化物・

(　　　　　　　　　　　　　　) の酸化物以外

・$CO_3^{2-}$ → (　　　　) ・ (　　　　　　　　　) 以外

・$S^{2-}$ → イオン化傾向 (　　　) 以下のイオン

## Chapter2　沈殿の色

要点

沈殿の色

白以外（硫化物は黒以外）の沈殿の色を頭に入れる。

### ◆ 沈殿の色　重要

代表的な沈殿の色は「白」が多いため，白以外の沈殿の色を頭に入れていこう。また，硫化物に関しては「黒」が多いため，黒以外を頭に入れるとよい。

代表的な沈殿の色を以下に示す。太字を優先的に頭に入れていこう。

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AgCl | **白** | AgBr | 淡黄 | AgI | 黄 | $PbCl_2$ | **白** |
| $BaSO_4$ | 白 | $CaSO_4$ | 白 | $PbSO_4$ | 白 | $CaCO_3$ | 白 |
| $BaCO_3$ | 白 | 水酸化鉄(Ⅲ) | **赤褐** | $Fe(OH)_2$ | **緑白** | $Cu(OH)_2$ | **青白** |
| $Fe_2O_3$ | 赤褐 | CuO | 黒 | $Cu_2O$ | 赤 | $Ag_2O$ | **(暗)褐** |
| PbS | **黒** | CuS | **黒** | $Ag_2S$ | 黒 | CdS | 黄 |
| MnS | 淡赤 | ZnS | **白** | $Ag_2CrO_4$ | **赤褐** | $PbCrO_4$ | **黄** |
| $BaCrO_4$ | **黄** | | | | | | |

まとめ

・特に重要な沈殿の色

AgCl (　　　) ・水酸化鉄(Ⅲ) (　　　　) ・ $Fe(OH)_2$ (　　　　)

$Ag_2O$ (　　　　　) ・ PbS (　　　) ・ CuS (　　　) ・ ZnS (　　　)

# Chapter3　演習問題

**問**　次の(1)~(5)の中で，水に難溶の化合物を全て選びなさい。

(1)　$Na_2S$

(2)　$Zn(OH)_2$

(3)　$Al(OH)_3$

(4)　$CaCl_2$

(5)　$BaSO_4$

# 第12講　PART1　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　次の①～④の化合物のうち，水に難溶のものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$Ca(OH)_2$　②　$CuCl_2$

③　$AgNO_3$　④　$PbSO_4$

(2)　次の①～④の沈殿のうち，強酸性にすると溶解するものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　ZnS　②　PbS

③　CuS　④　$Ag_2S$

(3)　$Fe(OH)_2$ の色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　赤褐色　②　緑白色

③　黒色　④　青白色

(4)　$Ag_2O$ の色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　淡赤色　②　褐色

③　黄色　④　白色

(5)　次の①～④の沈殿のうち，色が黒色のものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$BaSO_4$　②　$PbCl_2$

③　PbS　④　$CaCO_3$

< Note >

# PART2　錯イオン形成反応と錯イオン

目標　・錯イオンとは何かを理解し，錯イオンの決まりごとを押さえていこう！

## Chapter1　錯イオン（表し方・名前の付け方）

要点

錯イオンの表し方・名前の付け方

錯イオン　$[M(L)_n]^{m\pm}$（M: 中心金属，L: 配位子，$n$：配位数）

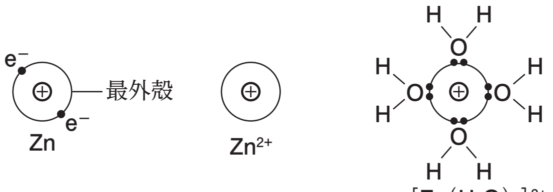
名前　配位数 $n$ ＋配位子 L 名＋中心金属 M 名＋（金属の酸化数）＋酸*＋イオン

＊全体が陰イオンのときは「酸」をつける。

### ◆ 錯イオン　重要

通常，水中の亜鉛イオンは $Zn^{2+}$ と表す。

しかし，本当は $H_2O$ 分子が配位して $[Zn(H_2O)_4]^{2+}$ となっている。




$[Zn(H_2O)_4]^{2+}$
（水中の $Zn^{2+}$）

このように，金属イオンが溶液中で溶媒の $H_2O$ 分子や，その他の分子，イオンなどと化学結合（主に配位結合）を形成したイオンを**錯イオン**という。

注意　通常 $H_2O$ 分子は省略して表記するため，錯イオンであることを意識しにくい。気をつけよう。

### ◆ 錯イオンの表し方　重要

錯イオンは以下のように表記する。

$[M(L)_n]^{m\pm}$

M: 中心金属

L: 配位子 (M に対して非共有電子対を提供する分子やイオン )

$n$：配位数

### ◆ 錯イオンの命名法　重要

錯イオン $[M(L)_n]^{m\pm}$ は以下のように命名する。

**「配位数 $n$ ＋ 配位子Ｌ名※1 ＋ 中心金属Ｍ名 ＋（金属の酸化数）＋ 酸※2 ＋ イオン」**

※1　配位子名

$NH_3$：アンミン　$OH^-$：ヒドロキシド　$CN^-$：シアニド　$Cl^-$：クロリド

$H_2O$：アクア　$SCN^-$：チオシアナト　$S_2O_3{}^{2-}$：チオスルファト

※2　陰イオンのみ

**例**　$[Zn(NH_3)_4]^{2+}$　テトラアンミン亜鉛(Ⅱ)イオン

$[Zn(OH)_4]^{2-}$　テトラヒドロキシド亜鉛(Ⅱ)酸イオン

**まとめ**

・錯イオン　$[M(L)_n]^{m\pm}$（M: 中心金属，L: 配位子，$n$：配位数）

名前　配位数 $n$ ＋配位子Ｌ名＋中心金属Ｍ名＋（金属の酸化数）＋酸＋イオン

代表的な配位子名

$NH_3$（　　　　　）　$OH^-$（　　　　　　　）

## Chapter2　金属と配位子の組み合わせ

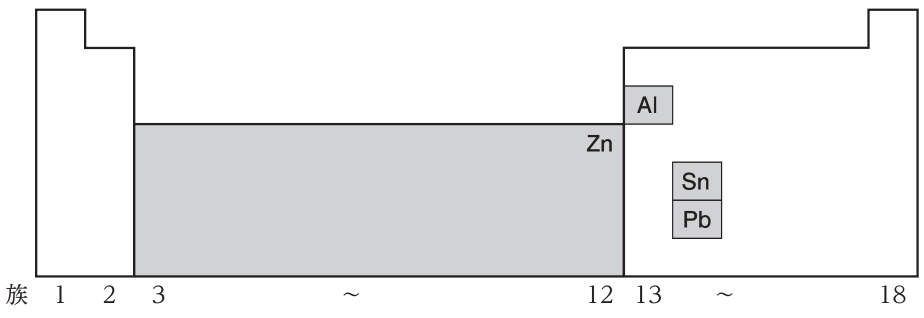
**要点**

金属と配位子の組み合わせ

錯イオンをつくる金属イオンは「周期表３～12族」と「両性金属」である。

### ◆ 金属と配位子の組み合わせ　重要

・錯イオンをつくる金属：「周期表３～12族（遷移金属）」と「両性金属」



・金属イオンと配位子の組み合わせ

| | 配位子 | 金属イオン | 頻出例 |
|---|---|---|---|
| 1 | $NH_3$ | 3～12族の1価と2価のイオン($Fe^{2+}$を除く) | $Cu^{2+}$・$Ag^{+}$・$Zn^{2+}$ |
| 2 | $CN^-$ | 3～12族のイオン | $Fe^{2+}$・$Fe^{3+}$・$Ag^{+}$ |
| 3 | $SCN^-$ | $Fe^{3+}$のみ | |
| 4 | $S_2O_3^{2-}$ | $Ag^{+}$のみ | |
| 5 | $OH^-$ | 両性金属のイオン | $Al^{3+}$・$Zn^{2+}$ |

まとめ

・金属と配位子の組み合わせ

配位子　具体例

$NH_3$ → (　　　)(　　　)(　　　)

$OH^-$ → (　　　)(　　　)

## Chapter3　配位数と錯イオンの形

要点

配位数と錯イオンの形

配位数は基本的に「中心金属の酸化数×２」となる。

### ◆ 配位数 重要

錯イオンの配位数は，基本的に「中心金属の酸化数×２」となる。

例 $Ag^+$ → 配位数２，$Zn^{2+}$ → 配位数４，$Cu^{2+}$ → 配位数４，$Fe^{3+}$ → 配位数６

注意が必要な配位数

$Fe^{2+}$・$Al^{3+}$ → 配位数６

($Al^{3+}$ は $[Al(OH)_4]^-$と書くため，配位数４と勘違いしやすい。

本当の姿は $[Al(OH)_4(H_2O)_2]^-$である。)

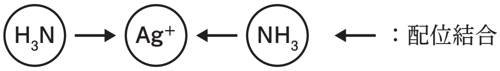
### ◆ 代表的な錯イオンの形 重要

錯イオンの形は，頂点の数が配位数と一致する対称性の高い形となる。

代表的なものを知っておこう。

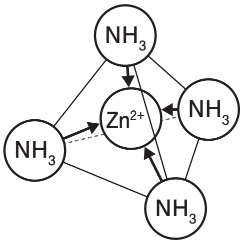
配位数2 （$Ag^{+}$ の錯イオン → 直線）

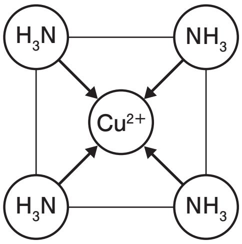
例 $[Ag(NH_3)_2]^{+}$




配位数4 （$Zn^{2+}$ の錯イオン → 正四面体，$Cu^{2+}$ の錯イオン → 正方形）

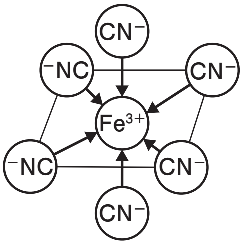
例 $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$




配位数6 （$Fe^{3+}$ の錯イオン → 正八面体）

例 $[Fe(CN)_6]^{3-}$




まとめ

・$Ag^{+}$ の錯イオン → 配位数（　　　），形（　　　　）
$Zn^{2+}$ の錯イオン → 配位数（　　　），形（　　　　）
$Cu^{2+}$ の錯イオン → 配位数（　　　），形（　　　　）
$Fe^{3+}$ の錯イオン → 配位数（　　　），形（　　　　）

# Chapter4　錯イオン形成反応

**要点**

錯イオン形成反応

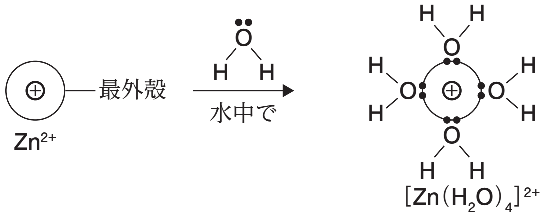
錯イオンの配位子が置き換わる反応。「沈殿生成反応」と「再溶解」が含まれる。

## ◆ 錯イオン形成反応　重要

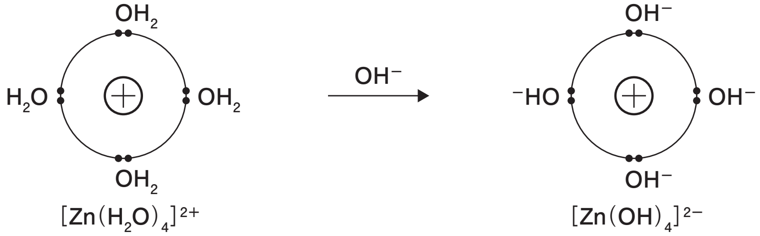
錯イオンの配位子が置き換わる反応を**錯イオン形成反応**という。錯イオンが関わる反応と思ってよい。

例　$Zn^{2+}$

・$Zn^{2+}$ は水中で $[Zn(H_2O)_4]^{2+}$ となっている。




・$H_2O$ より配位する力の強い配位子 ( 例 $OH^-$ ) がやってくると，$H_2O$ と置き換わる。




このとき，基本的に 2 つずつ置き換わる。

最初の 2 つが置き換わるとき（沈殿生成反応）

$$Zn[(H_2O)_4]^{2+} \xrightarrow[\text{沈殿生成}]{:OH^- \times 2} Zn[(OH)_2(H_2O)_2]\downarrow$$

このイオンは電荷をもたないため，水中で沈殿する。通常省略する $H_2O$ を取って書くと，以下のようになり，沈殿生成反応であることがわかる。

$$Zn^{2+} \xrightarrow{2OH^-} Zn(OH)_2\downarrow$$

残り２つが置き換わるとき（再溶解）

さらに２つが置き換わると，沈殿が溶解する。これを**再溶解**という。

$$[Zn(OH)_2(H_2O)_2]\downarrow \xrightarrow[\text{再溶解}]{:OH^- \times 2} [Zn(OH)_4]^{2-}$$

以上をまとめると，以下のようになる。

$$[Zn(H_2O)_4]^{2+} \xrightarrow[\text{沈殿}]{2OH^-} Zn[(OH)_2(H_2O)_2]\downarrow \xrightarrow[\text{再溶解}]{2OH^-} [Zn(OH)_4]^{2-}$$

↓ $H_2O$を省略

$$Zn^{2+} \xrightarrow[\text{沈殿}]{2OH^-} Zn(OH)_2\downarrow \xrightarrow[\text{再溶解}]{2OH^-} [Zn(OH)_4]^{2-}$$

**まとめ**

・錯イオン形成反応には（　　　　　　　）反応と（　　　　　　）が含まれる。

## Chapter5　演習問題

問　以下の名前の錯イオンの化学式を書きなさい。

(1)　テトラアンミン銅(Ⅱ)イオン

(2)　ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸イオン

# 第12講 PART2 確認問題

問1 次の問いに答えよ。

(1) 次の①～④のうち，錯イオン $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ の名称として正しいものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

a. テトラアンミン亜鉛(Ⅱ)イオン
b. ヘキサアンミン亜鉛(Ⅱ)イオン
c. テトラヒドロキシド亜鉛(Ⅱ)酸イオン
d. ヘキサヒドロキシド亜鉛(Ⅱ)酸イオン

① a　② b
③ c　④ d

(2) ジシアニド銀(Ⅰ)酸イオンの化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $[Ag(CN)_2]^+$　② $[Ag(CN)_2]^-$
③ $[Ag(CN)_4]^+$　④ $[Ag(CN)_4]^{3-}$

(3) 錯イオン $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ の形として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 直線　② 正四面体
③ 正方形　④ 正八面体

(4) $Zn^{2+}$ は $OH^-$ 存在下の水中では沈殿を生成後，再溶解する。再溶解後の状態として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① $[Zn(H_2O)_4]^{2+}$　② $[Zn(OH)_2(H_2O)_2]$
③ $[Zn(OH)_4]^{2-}$

< Note >

# PART3　系統分析

目標　・沈殿や錯イオンの知識を使って，系統分析に触れてみよう！

## Chapter1　系統分析とは

要点

系統分析とは

「沈殿生成」と「再溶解」を利用して金属イオンを検出する方法。

### ◆ 系統分析　重要

「沈殿生成」と「再溶解」を利用して金属イオンを検出する方法を**系統分析**という。

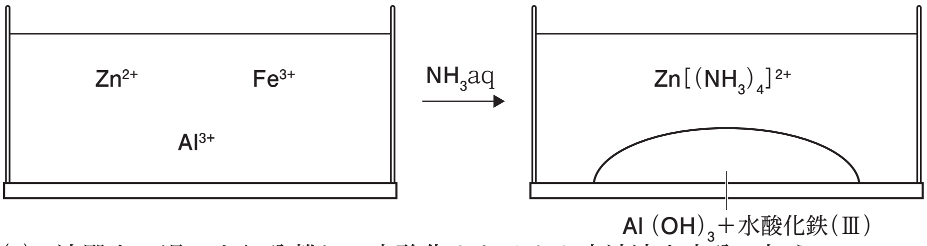
「沈殿生成」と「再溶解」を利用すると，以下の例のように，水中で混合している金属イオンを分離して取り出すことができる。

例　$Zn^{2+}$，$Al^{3+}$，$Fe^{3+}$ が混合している水溶液

(1)　アンモニア水を十分に加える

→ $Zn^{2+}$ は $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ として溶解

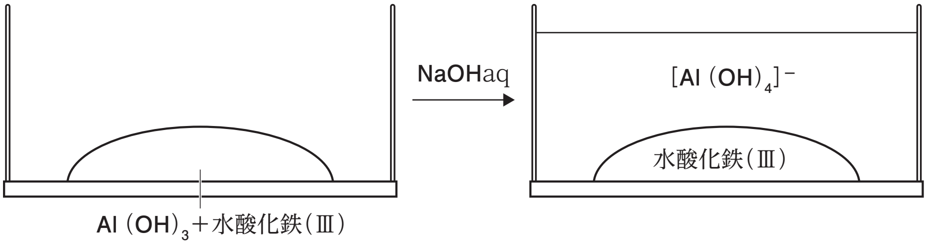
$Al^{3+}$，$Fe^{3+}$ は $Al(OH)_3$，水酸化鉄(Ⅲ)として沈殿




(2)　(1)の沈殿をろ過により分離し，水酸化ナトリウム水溶液を十分に加える

→ $Al^{3+}$ は $[Al(OH)_4]^-$ として溶解

$Fe^{3+}$ は水酸化鉄(Ⅲ)のまま沈殿している




**まとめ**

・沈殿生成と再溶解を利用して金属イオンを検出する方法を（　　　　　　　）という。

# Chapter2　系統分析の流れ

**要点**

系統分析の流れ

(1)　塩酸を加える

(2)　硫化水素を吸収させる（酸性下，後処理：煮沸する，希硝酸を加える）

(3)　アンモニア水を加える

(4)　硫化水素を吸収させる（塩基性下）

(5)　炭酸アンモニウム水溶液を加える

(6)　炎色反応

## ◆ 系統分析の流れ　重要

系統分析は以下の流れで進めていく。**例** の混合溶液を使って確認していこう。

**例**　$Ca^{2+}$・$Na^{+}$・$Al^{3+}$・$Zn^{2+}$・$Fe^{3+}$・$Pb^{2+}$・$Cu^{2+}$・$Ag^{+}$

(1)　**塩酸を加える**　→　$PbCl_2$，AgCl が沈殿

【再溶解】

・**熱水を加える**（比較的溶解度の大きい $PbCl_2$ のみ溶解）

$PbCl_2$ —熱水→ 溶解($Pb^{2+}$)
AgCl —熱水→ 溶解しない

・**アンモニア水を加える**（AgCl のみ錯イオンとなって溶解）

$PbCl_2$ —$NH_3aq$→ 溶解しない
AgCl —$NH_3aq$→ 溶解($[Ag(NH_3)_2]^+$)

(2) 硫化水素を吸収させる（酸性下） → CuS(イオン化傾向 Sn 以下の金属)が沈殿

【再溶解】

・希硝酸を加える（CuS は溶解後，溶液が青色）

$$CuS \xrightarrow{HNO_3aq} Cu^{2+}\text{（青）}$$

【後処理】

溶液中に $Fe^{3+}$ が存在するとき，$H_2S$ の還元力により $Fe^{2+}$ に変化する。よって，$Fe^{2+}$ を $Fe^{3+}$ に戻すための後処理をおこなう。

・煮沸（水溶液中の $H_2S$ を取り除く）

・希硝酸を加える（$Fe^{2+}$ を酸化して $Fe^{3+}$ に戻す）

(3) アンモニア水を加える → $Al(OH)_3$，水酸化鉄(Ⅲ)が沈殿

【再溶解】

・水酸化ナトリウム水溶液を加える（$Al(OH)_3$ のみ溶解）

| | | |
|---|---|---|
| $Al(OH)_3$ | $\xrightarrow{NaOHaq}$ | 溶解（$[Al(OH)_4]^-$） |
| 水酸化鉄(Ⅲ) | | 溶解しない |

(4) 硫化水素を吸収させる（塩基性下） → ZnS（イオン化傾向 Zn 以下の金属）が沈殿

白色の硫化物は ZnS のみであるため，色で判断可能。

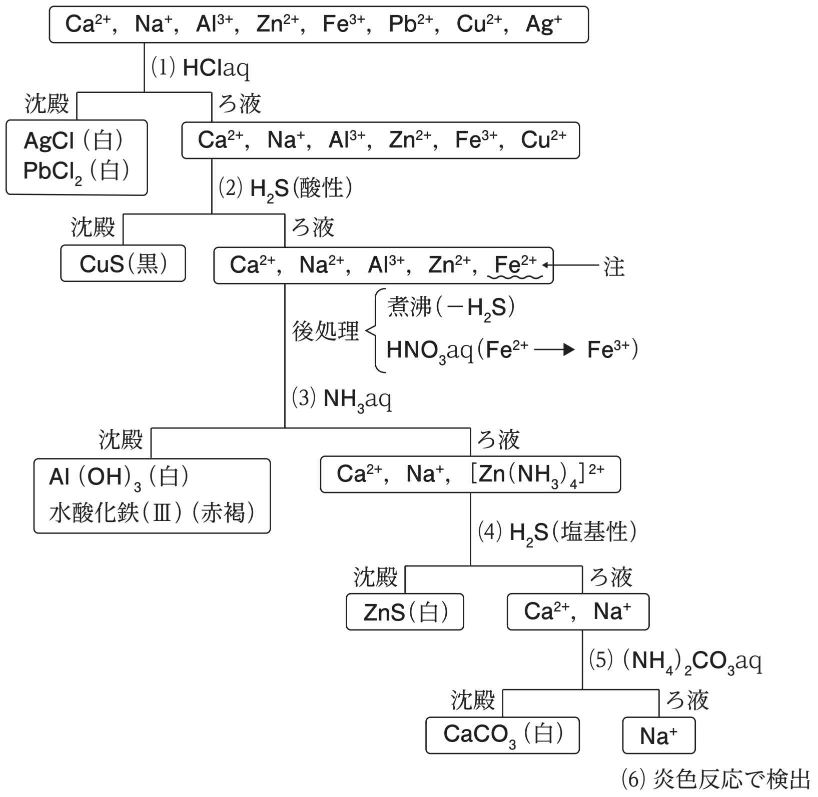
(5) 炭酸アンモニウム水溶液を加える → $CaCO_3$(アルカリ土類金属)が沈殿

(6) 炎色反応 → $Na^+$（アルカリ金属）を検出

【炎色反応の色】

Li（赤）・Na（黄）・K（赤紫）・Cu（青緑）・Ca（橙赤）・Sr（紅）・Ba（黄緑）

系統図




**まとめ**

・系統分析（【　】内はその操作で生じる代表的な沈殿）

(1)（　　　　）を加える【$PbCl_2$, AgCl】

(2)（　　　　　　）を吸収させる（酸性下）【CuS】

後処理：煮沸する，希硝酸を加える

(3)（　　　　　　　　）を加える【$Al(OH)_3$, 水酸化鉄(Ⅲ)】

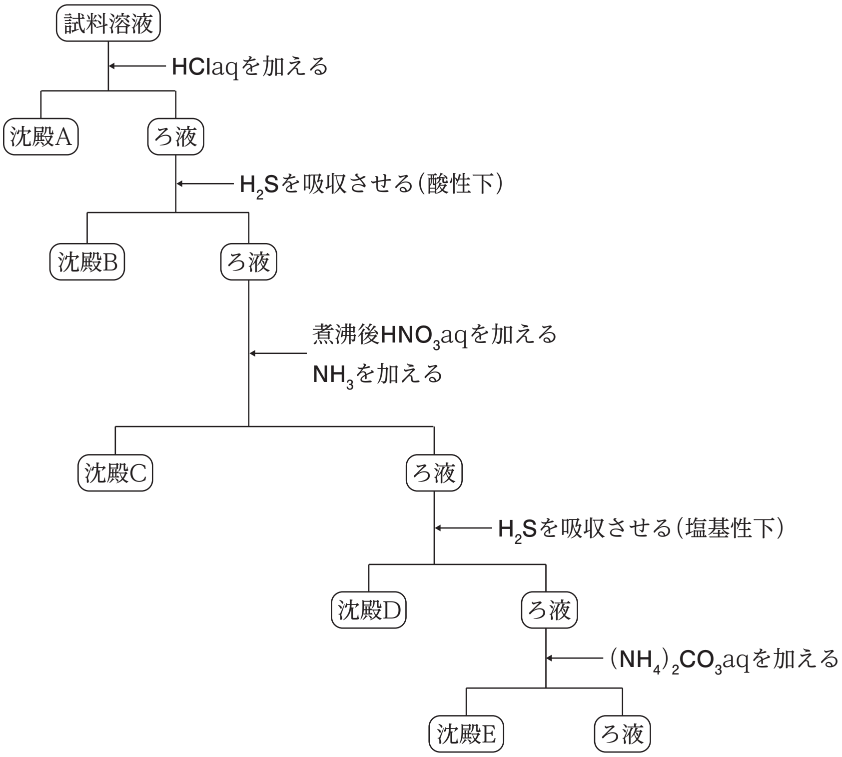
(4)（　　　　　　）を吸収させる（塩基性下）【ZnS】

(5)（　　　　　　　　　　　　）を加える【$CaCO_3$】

(6)（　　　　）反応

# Chapter3　演習問題

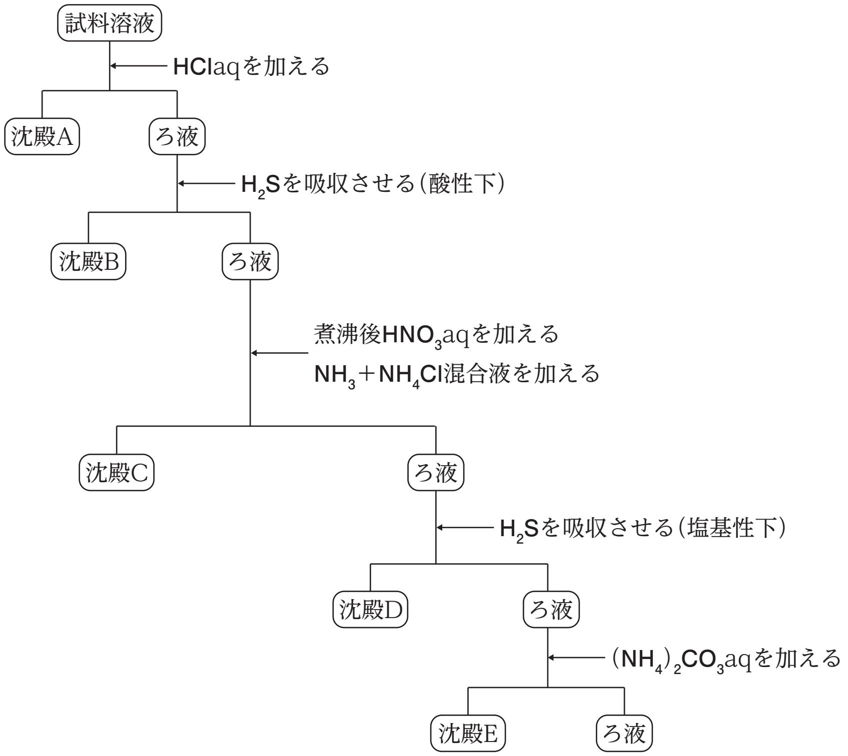
問　$Ba^{2+}$・$Zn^{2+}$・$Fe^{3+}$・$Cu^{2+}$・$Ag^{+}$ を含む水溶液がある。下図に示す操作により，これらのイオンを分離した。沈殿 A ～ E として適切な化学式または化合物名を答えよ。



< Note >

# 第12講　PART3　確認問題

問１　$K^{+}$, $Cu^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Pb^{2+}$, $Fe^{3+}$, $Ca^{2+}$を含む水溶液がある。下図に示す操作により，これらの金属イオンを分離した。次の問いに答えよ。ただし，沈殿を生じたイオンは水溶液中から完全に除かれるものとする。




(1)　次の①～④のうち，沈殿 A として分離される金属イオンはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $Fe^{3+}$　② $Cu^{2+}$
③ $Pb^{2+}$　④ $K^{+}$

(2)　次の①～④のうち，沈殿 B として分離される金属イオンはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $Pb^{2+}$　② $Ca^{2+}$
③ $Zn^{2+}$　④ $Cu^{2+}$

⑶　次の①～④のうち，沈殿Cとして分離される金属イオンはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$Ca^{2+}$　②　$Fe^{3+}$
③　$K^{+}$　④　$Zn^{2+}$

⑷　次の①～④のうち，沈殿Dとして分離される金属イオンはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$Cu^{2+}$　②　$Zn^{2+}$
③　$Ca^{2+}$　④　$Pb^{2+}$

⑸　次の①～④のうち，沈殿Eとして分離される金属イオンはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　$Pb^{2+}$　②　$Ca^{2+}$
③　$Cu^{2+}$　④　$Fe^{3+}$

⑹　最後に残ったろ液で炎色反応を行ったとき，呈する色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　黄色　②　青緑色
③　黄緑色　④　赤紫色

# 第 13 講　典型金属元素
# PART1　アルカリ金属

目標　・アルカリ金属の単体や代表的な化合物の性質を押さえよう！

## Chapter1　単体

要点

単体

- 融点が低く，やわらかい
- 密度が小さい（軽金属）
- $O_2$，$H_2O$ と反応（石油中に保存）
- 炎色反応を示す
- 工業的製法：溶融塩電解

### ◆ 単体　重要

- **融点が低く，やわらかい**
- **密度が小さい（軽金属）**
- **空気中の $O_2$ や $H_2O$ と反応（石油中に保存する）**

アルカリ金属は還元力が強く，$O_2$ や $H_2O$ と容易に反応するため，石油中に保存する。

$4Na + O_2 \rightarrow 2Na_2O$

$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$

- **炎色反応を示す**

炎色反応の色

Li（赤）・Na（黄）・K（赤紫）・Cu（青緑）・Ca（橙赤）・Sr（紅）・Ba（黄緑）

炎色反応の実験

(1)　白金線を塩酸に浸して洗浄

(2)　ガスバーナーの外炎に入れる

(3)　白金線を試料の水溶液に浸し，ガスバーナーの外炎に入れる

- **工業的製法：溶融塩電解（融解塩電解）**

イオン化傾向 Li ～ Al（軽金属）の製法は溶融塩電解（融解塩電解）である。

**例**　Na の製法：NaCl の溶融塩電解

陽極：$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$　　　陰極：$Na^+ + e^- \rightarrow Na$

まとめ

・アルカリ金属の単体

・融点が（　　　　），やわらかい　　　　　　・密度が（　　　　）

・ $O_2$，$H_2O$ と反応→（　　　　　）に保存　　・（　　　　）反応を示す

・製法：（　　　　　　　）

# Chapter2　水酸化ナトリウム

要点

水酸化ナトリウム

・強塩基性　　・潮解性

・工業的製法：NaClaq の電気分解

## ◆ 水酸化ナトリウム　重要

苛性ソーダともいわれる無色半透明の固体である。

・**強塩基性**

→　空気中の $CO_2$ と反応

酸性の気体である $CO_2$ と中和反応を起こし，$Na_2CO_3$ に変化する。

→　取り扱いに注意する

タンパク質の変性により，皮膚や粘膜が激しく侵される。

・**潮解性**

空気中の水分を吸収して溶解する性質を**潮解性**という。

→　正しい質量をはかりとることができない

すぐに水分を吸収するため，はかりとった質量には水分が含まれる。よって，正しい質量をはかりとることができない。すなわち，正しい濃度の溶液を調製できない。

・**工業的製法：NaClaq の電気分解**

陽極に C，陰極に Fe を用いて両極間を陽イオン交換膜で仕切り，NaClaq の電気分解をおこなう。（詳細は，第 6 講 PART4 を参照）

陽極：$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$　　　陰極：$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

まとめ

・水酸化ナトリウム

・（　　　　　）性 → 空気中の $CO_2$ と反応

・（　　　　）性　→ 正しい質量をはかりとることができない

・工業的製法：(　　　　　　) の電気分解

# Chapter3　炭酸ナトリウム

要点

炭酸ナトリウム

ガラスの製造や洗剤に利用されている風解性をもつ物質。

## ◆ 炭酸ナトリウム　重要

炭酸ナトリウム $Na_2CO_3$ はガラスの製造や洗剤などに利用されている物質である。

・**風解性がある**

空気中で結晶水の一部を失う現象を**風解**，その性質を**風解性**という。

炭酸ナトリウムの水溶液を濃縮させると，炭酸ナトリウム十水和物の無色の結晶が析出する。そして，その結晶を空気中に放置すると，風解により白色粉末の炭酸ナトリウム一水和物に変化する。

$$Na_2CO_3\cdot 10H_2O \rightarrow Na_2CO_3\cdot H_2O + 9H_2O$$

無色の結晶　　　白色粉末

まとめ

・炭酸ナトリウムの水溶液を濃縮させると，（　　　　　　　　　　）の結晶が析出する。その結晶は，空気中に放置すると，（　　　　　　　　　　）に変化する。このように，空気中で結晶水の一部を失う性質を（　　　　　）という。

# Chapter4　炭酸ナトリウムの工業的製法

要点

炭酸ナトリウムの工業的製法

$NaCl$ と $CaCO_3$ を原料にしたアンモニアソーダ法でつくる。

$2NaCl + CaCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$

## ◆ アンモニアソーダ法　重要

炭酸ナトリウムは自然界に存在している食塩 $NaCl$ と石灰石 $CaCO_3$ を原料にした**アンモニアソーダ法**でつくる。

$2NaCl + CaCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$　…※

しかし，$NaCl$ と $CaCO_3$ は直接反応しないため，※式の反応を以下の経路で進行させる。

(1) **$NaCl$ の飽和水溶液に $NH_3$ を吸収させた後，$CO_2$ を吸収させると，$NaHCO_3$ が析出。**

（$NH_4Cl$ は(5)へ）

$NaCl + H_2O + NH_3 + CO_2 \rightarrow NaHCO_3 + NH_4Cl$

(2) **(1)で得られた $NaHCO_3$ を加熱すると，熱分解により $Na_2CO_3$ が生じる。**

（$CO_2$ は(1)へ再利用）

$2NaHCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$

(3) **$CaCO_3$ を加熱すると，熱分解により $CaO$ と $CO_2$ が生じる。**

（$CO_2$ は(1)へ再利用）

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

(4) **(3)で得られた $CaO$ を水に溶解させて $Ca(OH)_2$ にする。**

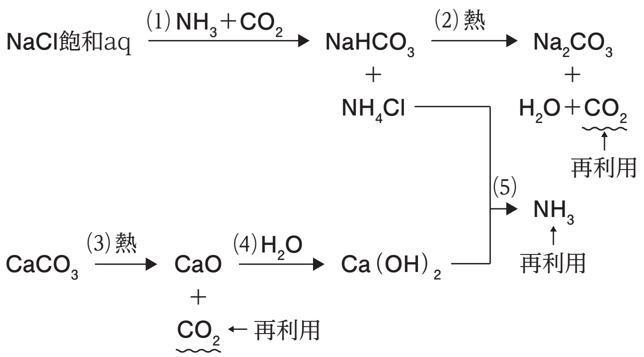
$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

(5) **(4)で得られた $Ca(OH)_2$ と(1)で生じた $NH_4Cl$ から $NH_3$ を取り出す。**

$Ca(OH)_2 + 2NH_4Cl \rightarrow 2NH_3 + 2H_2O + CaCl_2$

(1)× 2 +(2)+(3)+(4)+(5)より※式となる。

$2NaCl + CaCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$　…※




まとめ

・$Na_2CO_3$ は（　　　　）と（　　　　）を原料にした（　　　　　　　）でつくる。

## Chapter5　演習問題

**問**　塩化ナトリウムと炭酸カルシウムを原料に，アンモニアソーダ法で炭酸ナトリウムをつくる。使用する塩化ナトリウムが 117kg であるとき，理論上，過不足なく反応する炭酸カルシウムは何 kg か。ただし，塩化ナトリウムは全て反応するものとする。

原子量：C 12，O 16，Na 23，Cl 35.5，Ca 40

## < Note >

# 第13講　PART1　確認問題

問 1　アルカリ金属の単体は，融点が（　ア　）やわらかい，密度が（　イ　）などの性質をもっている。そのほか，(a) 還元力が強く，炎色反応を示すなどの特徴もある。

　アルカリ金属 Na の化合物の 1 つ，水酸化ナトリウムは強塩基性であり,（　ウ　）性をもつなどの性質がある。同じく，Na の化合物の炭酸ナトリウムは（　エ　）性をもつなどの性質があり，工業的には (b) アンモニアソーダ法によってつくられる。

(1)　文中の（　ア　），（　イ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：高く　　イ：大きい
②　ア：高く　　イ：小さい
③　ア：低く　　イ：大きい
④　ア：低く　　イ：小さい

(2)　文中の下線部 (a) について，アルカリ金属は還元力が強いことから，どこに保存しておく必要があるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　水中　　②　空気中
③　石油中

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　吸湿　　②　風解
③　潮解

⑷ 文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 吸湿　　② 風解

③ 潮解

⑸ 文中の下線部 (b) について，炭酸カルシウム 300kg と 354kg の塩化ナトリウムおよび十分な量の水とアンモニアを原料とすると，アンモニアソーダ法によってつくられる炭酸ナトリウムは何 kg になるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし, 原子量は C：12, O：16，Na：23，Cl：35.5，Ca：40 とする。

① 159kg　　② 318kg

③ 477kg　　④ 636kg

# PART2　アルカリ土類金属

目標　・アルカリ土類金属の単体や代表的な化合物の性質を押さえよう！

## Chapter1　単体

要点

単体

「Be・Mg」と「その他のアルカリ土類金属」は性質が異なる。

### ◆ 単体　重要

アルカリ金属に比べ，融点は高く，密度はやや大きい。また，軽金属であるため，アルカリ金属のように溶融塩電解で取り出す。

同じアルカリ土類金属でも，Be と Mg はその他のアルカリ土類金属とは性質が異なる。

(1)　**炎色反応**

Be・Mg：示さない，その他のアルカリ土類金属：示す

(2)　**冷水との反応（→金属のイオン化傾向）**

Be・Mg：反応しない，その他のアルカリ土類金属：反応する

(3)　**水酸化物の水溶性**

Be・Mg：溶解しない，その他のアルカリ土類金属：溶解する（強塩基性）

(4)　**硫酸塩の水溶性**

Be・Mg：溶解する，その他のアルカリ土類金属：溶解しない

まとめ

・アルカリ土類金属の単体

| | | (1) 炎色反応 | (2) 冷水との反応 | (3) 水酸化物の水溶性 | (4) 硫酸塩の水溶性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Be・Mg | | | | |
| 2 | その他のアルカリ土類金属 | | | | |

# Chapter2　炭酸カルシウム・酸化カルシウム

要点

炭酸カルシウム・酸化カルシウム

$CaCO_3$ は加熱すると，熱分解により CaO に変化する。

### ◆ 炭酸カルシウム・酸化カルシウム　重要

炭酸カルシウム $CaCO_3$ は天然に，石灰石や大理石の主成分として存在している。また，酸化カルシウム CaO は生石灰とよばれる。

・**$CaCO_3$ を加熱すると，熱分解により CaO に変化**

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$

・**CaO は水を加えると，多量の熱を発生して溶解**

$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

まとめ

・ $CaCO_3$ は天然に（　　　　　）や（　　　　　）の主成分として存在する。また，加熱すると熱分解により（　　　　）に変化する。

# Chapter3　水酸化カルシウム

要点

水酸化カルシウム

水への溶解度は大きくない。水溶液は強塩基性。

### ◆ 水酸化カルシウム　重要

水酸化カルシウム $Ca(OH)_2$ は消石灰ともよばれる。水への溶解度は大きくないが，水溶液は強塩基性を示す。

・**石灰水は $CO_2$ の検出に利用**

$Ca(OH)_2$ の飽和水溶液を石灰水という。石灰水は $CO_2$ の検出に利用される。

(1)　石灰水に $CO_2$ を通じると，炭酸カルシウム $CaCO_3$ が生じて白濁する。

$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

(2)　さらに $CO_2$ を通じると，炭酸水素カルシウム $Ca(HCO_3)_2$ となって溶解し，無色

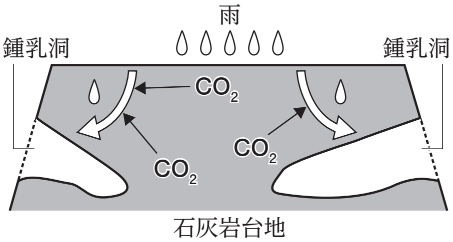
の溶液になる。

$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$

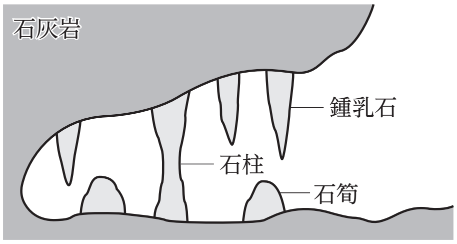
この溶液を加熱すると，水中から $CO_2$ が追い出され，逆反応が進行して $CaCO_3$ が沈殿する。

$Ca(HCO_3)_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O + CO_2$

この反応が石灰岩地帯で起こっている。$CO_2$ を含む雨水や地下水(地中で微生物が有機物を分解するときに発生する $CO_2$ が溶解している)が原因で，石灰岩が侵食されて，鍾乳洞ができる。




そして，生じた $Ca(HCO_3)_2$ を含む水が石灰岩の割れ目から流れ落ちるときに，$CO_2$ が放出されて，ゆっくりと逆反応が進行する。このようにしてできる，つらら状のものが鍾乳石である。また，水滴が落ちて同様のことが進行すると，石筍ができる。そして，鍾乳石と石筍がつながったものが石柱である。




**まとめ**

・水酸化カルシウムは，水への溶解度は大きくないが，水溶液は
( 　　　　 ) 性を示す。また，水酸化カルシウムの飽和水溶液である ( 　　　　 ) は，( 　　　　　　 ) の検出に利用される。

## Chapter4　硫酸カルシウム・硫酸バリウム

**要点**

硫酸カルシウム・硫酸バリウム

$CaSO_4$：天然にセッコウ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ で存在

$BaSO_4$：X 線検査の造影剤として利用される

### ◆ 硫酸カルシウム 重要

硫酸カルシウム $CaSO_4$ は天然に，二水和物であるセッコウ $CaSO_4・2H_2O$ として存在している。

- **セッコウを 120 ～ 140℃に加熱すると，水和水の一部が失われ，半水和物である焼きセッコウに変化する。**

$$CaSO_4・2H_2O \rightarrow CaSO_4・\frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O$$

- **焼きセッコウに水を加えて練り，しばらく放置すると，体積が増加してセッコウに戻る。**

$$CaSO_4・\frac{1}{2}H_2O + \frac{3}{2}H_2O \rightarrow CaSO_4・2H_2O$$

これを利用し，医療用ギプスなどに利用されている。

### ◆ 硫酸バリウム 重要

硫酸バリウム $BaSO_4$ は X 線を遮蔽し，胃液（強酸性）でも溶解しないため，X 線検査の造影剤として利用される。

**まとめ**

- $CaSO_4$ は天然に（　　　　　　）として存在し，120 ～ 140℃に加熱すると，（　　　　　　　）に変化する。

## Chapter5　演習問題

問　アルカリ土類金属の単体で，Be・Mg とその他のアルカリ土類金属で，性質の異なる項目として不適切なものを，次の①～⑤から一つ選べ。

①　硫酸塩の水溶性

②　水酸化物の水溶性

③　塩化物の水溶性

④　冷水との反応

⑤　炎色反応

# 第13講 PART2 確認問題

問1 （ ア ）は，天然に石灰石や大理石の主成分として存在しており，加熱すると（ イ ）に変化する。（ イ ）は生石灰ともよばれる。（ ウ ）は消石灰ともよばれており，水溶液は強塩基性を示す。（ ウ ）の飽和水溶液は (a)石灰水といい，$CO_2$ の検出に利用されている。（ エ ）は天然に，セッコウとして存在し，（ オ ）は X 線検査の造影剤として利用されている。

(1) 文中の（ ア ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Ca(OH)_2$　② $CaO$
③ $CaSO_4$　④ $CaCO_3$

(2) 文中の（ イ ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Ca(OH)_2$　② $CaO$
③ $CaSO_4$　④ $CaCO_3$

(3) 文中の（ ウ ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Ca(OH)_2$　② $CaO$
③ $CaSO_4$　④ $CaCO_3$

(4) 文中の下線部 (a) について，石灰水は $CO_2$ を検出すると白濁するが，この白濁はどのような物質が生じた結果起こるものか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $Ca(OH)_2$　② $CaO$
③ $CaSO_4$　④ $CaCO_3$

(5) 文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $CaCO_3$　② $Ca(OH)_2$
③ $BaSO_4$　④ $CaSO_4$

(6) 文中の（　オ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $CaCO_3$　② $Ca(OH)_2$
③ $BaSO_4$　④ $CaSO_4$

(7) 次の①～④のアルカリ土類金属のうち，炎色反応を示さないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① Mg　② Ca
③ Sr　④ Ba

# PART3　アルミニウム

目標　・アルミニウムの性質や製法をしっかりと押さえていこう！

## Chapter1　単体

要点

単体

延性・展性，電気伝導性，熱伝導性に優れている。

酸とも強塩基とも反応し，$H_2$ が発生する。（両性金属）

### ◆ 単体　重要

アルミニウムの単体は銀白色で，軽金属（密度が小さい金属。イオン化傾向Li～Al）である。

(1)　**延性・展性，電気伝導性，熱伝導性に優れている**

電気伝導性，熱伝導性の大きい金属を並べると次のようになる。

Ag ＞ Cu ＞ Au ＞ Al

(2)　**ジュラルミンの主成分である**

アルミニウムは，ジュラルミンの主成分（Al 以外に Cu，Mg，Mn などを含む）である。

ジュラルミンは軽くて丈夫なため，航空機の機体などに利用されている。

(3)　**空気中に放置すると酸化被膜を形成**

アルミニウムを空気中に放置すると表面に緻密な酸化被膜を形成するため，内部が保護され，腐食されにくくなる。

この被膜を人工的に分厚くつけた製品を，**アルマイト**という。

(4)　**燃焼すると多量の熱と光を発生する**

アルミニウムの燃焼熱は，金属の中で最大である。

⑸　**酸化鉄(Ⅲ)との混合物に点火すると多量の熱が発生し，融解した鉄が生成する**

アルミニウムは還元力が強く，酸化鉄(Ⅲ)$Fe_2O_3$ を還元するため，鉄の単体を取り出すことができる。(このとき多量の熱が発生するため，鉄は融解した状態で得られる)

$$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$$

Al と $Fe_2O_3$ の混合物をテルミット，この反応を，**テルミット反応**という。

⑹　**酸とも強塩基とも反応し，$H_2$ が発生する**

アルミニウムは両性金属なので，酸とも強塩基とも反応する。単体との反応では，共に $H_2$ が発生する。

$$2Al + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2$$

$$2Al + 6H_2O + 2NaOH \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2$$

(両性金属は，単体だけでなく酸化物や水酸化物も，酸とも強塩基とも反応する)

⑺　**高温水蒸気と反応し，$H_2$ が発生する**

アルミニウムは冷水とは反応しないが，高温水蒸気とは反応し，$H_2$ が発生する。

(→第 11 講 PART1)

**まとめ**

・アルミニウムは両性金属なので，単体だけでなく，酸化物や水酸化物も
(　　　)とも(　　　　　)とも反応する。

・アルミニウムの単体が酸や強塩基と反応するときは，共に(　　　)が発生する。

# Chapter2　化合物

**要点**

化合物

$Al_2O_3$，$Al(OH)_3$ ：酸とも強塩基とも反応する。

$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$：無色透明で正八面体の結晶。複塩。

## ◆ 酸化アルミニウム$Al_2O_3$ 重要

水に難溶の白色粉末。融点が非常に高いため，溶融塩電解をおこなう際は，融点降下剤として氷晶石を使用する。

また，両性酸化物であるため，単体と同様に，酸とも強塩基とも反応する。

$$Al_2O_3 + 6HCl \rightarrow 2AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 + 3H_2O + 2NaOH \rightarrow 2Na[Al(OH)_4]$$

## ◆ 水酸化アルミニウム$Al(OH)_3$ 重要

$Al^{3+}$ を含む水溶液に少量の強塩基，または $NH_3aq$ を加えると生じる，白色ゲル状の沈殿。

$$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al(OH)_3$$

$$Al^{3+} + 3NH_3 + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3NH_4^+$$

また，両性水酸化物であるため，単体と同様に，酸とも強塩基とも反応する。

$$Al(OH)_3 + 3HCl \rightarrow AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al(OH)_3 + NaOH \rightarrow Na[Al(OH)_4]$$

## ◆ ミョウバン$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ 重要

硫酸アルミニウム $Al_2(SO_4)_3$ と硫酸カリウム $K_2SO_4$ の混合水溶液を，冷却したり濃縮したりすると生じる無色透明で正八面体の結晶が，ミョウバン $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ である。このように，複数の塩から生じる塩を**複塩**といい，水に溶かすとそれぞれの成分イオンに電離する。

また，ミョウバンの水溶液は弱酸性を示す。

**まとめ**

・ミョウバン（$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$）は，（　　　　　　　　）と（　　　　　　　　）の混合水溶液を冷却したり濃縮したりすると得られる。このように，複数の塩から生じる塩を（　　　　）という。

# Chapter3　アルミニウムの工業的製法

**要点**

アルミニウムの工業的製法

バイヤー法：ボーキサイトからアルミナを取り出す。

ホール・エルー法：アルミナの溶融塩電解。

## ◆ アルミニウムの工業的製法

アルミニウムは，天然に**ボーキサイト**という鉱石で存在している。ボーキサイトから単体のアルミニウムを取り出す過程は，以下の２つに大別される。

１．バイヤー法：ボーキサイトから純度の高い酸化アルミニウムを取り出す

２．ホール・エルー法：酸化アルミニウムの溶融塩電解（→第６講 PART4）

２.の溶融塩電解は「電気分解」で学んでいるため，ここでは１.のバイヤー法を中心に確認していこう。

## ◆ バイヤー法

ボーキサイトは，主成分が $Al_2O_3 \cdot nH_2O$ の鉱石で，不純物として $Fe_2O_3$ や $SiO_2$ を含む。これらの不純物を取り除き，純度の高い $Al_2O_3$ を取り出す方法がバイヤー法である。

（ここで不純物は沈殿）

$$\text{ボーキサイト} \xrightarrow[(1)]{\text{濃NaOHaq}} [Al(OH)_4]^- \xrightarrow[(2)]{H_2O} Al(OH)_3 \xrightarrow[(3)]{\text{加熱}} Al_2O_3 \text{（アルミナ）}$$

(1)　**ボーキサイトに濃水酸化ナトリウム水溶液を加える**

・$Al_2O_3$ → 錯イオンとなって溶解。

$$Al_2O_3 + 3H_2O + 2NaOH \rightarrow 2Na[Al(OH)_4]$$

・不純物（$Fe_2O_3$ や $SiO_2$）→ 溶解せず沈殿するため，この段階で取り除かれる。

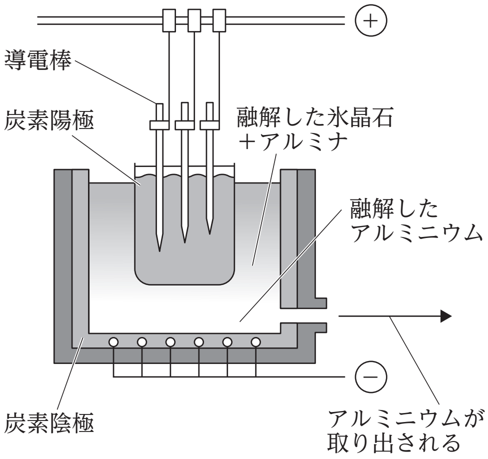
(2)　**(1)の溶液に，多量の水を加えたり $CO_2$ を吸収させたりする**

$[Al(OH)_4]^-$ が $Al(OH)_3$ となって沈殿する。

(3)　**(2)で取り出した $Al(OH)_3$ を加熱する**

脱水により，$Al_2O_3$ に変化する。

$$2Al(OH)_3 \rightarrow Al_2O_3 + 3H_2O$$




このようにして得られた純度の高い $Al_2O_3$ を**アルミナ**という。

アルミナを溶融塩電解することで，単体のアルミニウムを得る。

（ホール・エルー法）

**まとめ**

・アルミニウムは，（　　　　　　　　　　）とよばれる鉱石で存在している。

・バイヤー法により得られる純度の高い酸化アルミニウムを,（　　　　　　　　）という。

# Chapter4　演習問題

問　酸化アルミニウムの溶融塩電解では，各極で以下のような反応が進行する。

陽極：$C + O^{2-} \rightarrow CO + 2e^-$

$C + 2O^{2-} \rightarrow CO_2 + 4e^-$

陰極：$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$

陽極で 9.0mol の CO と 6.0mol の $CO_2$ が発生したとき，陰極で生成する Al は何 mol か。

## ＜ Note ＞

# 第13講 PART3 確認問題

問1 アルミニウムの単体は，銀白色の軽金属で，電気伝導性や熱伝導性が大きい。電気伝導性や熱伝導性が大きい金属である銅，銀，金，アルミニウムを電気伝導性や熱伝導性が大きい順に並べると，アルミニウムは（ ア ）の次になる。還元力が強く，(a)テルミット反応を起こすほか，両性金属なので，(b)酸とも強塩基とも反応するという特徴がある。

また，(c)ミョウバンは，アルミニウムの化合物の1つで，水溶液は（ イ ）を示す。アルミニウムは工業的には，(d)バイヤー法とホール・エルー法によって得られる。

(1) 文中の（ ア ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 銅　② 銀
③ 金

(2) 文中の下線部 (a) について，テルミットとはアルミニウムと何の混合物か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① Fe　② FeO
③ $Fe_2O_3$　④ $Fe_3O_4$

(3) 文中の下線部 (b) について，アルミニウムの単体が酸，あるいは強塩基と反応した際に共通して発生するものは何か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $H_2$　② $O_2$
③ $H_2O$　④ $N_2$

⑷　文中の下線部 (c) について，ミョウバンの化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$AlNa(CO_3)_2 \cdot 6H_2O$　　②　$AlNa(CO_3)_2 \cdot 12H_2O$

③　$AlK(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$　　④　$AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$

⑸　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　弱酸性　　②　強酸性

③　弱塩基性　　④　強塩基性

⑹　文中の下線部 (d) について，バイヤー法で得られる純度の高い酸化アルミニウムを何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　アルマイト　　②　ボーキサイト

③　ジュラルミン　　④　アルミナ

⑺　次の①～④のうち，アルミニウムの特徴に該当しないものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

①　展性・延性に優れている。

②　空気中に放置すると酸化被膜を形成する。

③　燃焼熱は金属の中で最小である。

④　冷水とは反応しないが高温水蒸気とは反応する。

# 第 14 講　遷移金属元素
# PART1　遷移元素

目標　・遷移元素とは何かを押さえていこう！

## Chapter1　遷移元素

要点

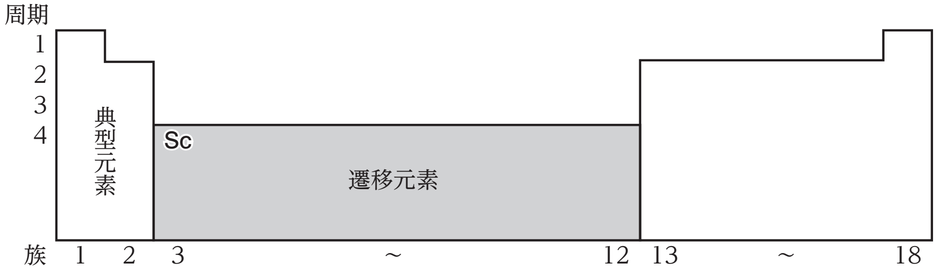
遷移元素

周期表 3 ~ 12 族の元素。

基本的に最外殻より内側の殻に電子が入り，最外殻電子数は 2 (または 1 ) となる。

### ◆ 遷移元素　重要

周期表 3 ~ 12 族の元素。全て金属であるため，遷移金属ともよばれる。




原子番号順に見ていくと，最初に登場する遷移元素は第 4 周期，3 族，原子番号 21 番のスカンジウム Sc である。

### ◆ 遷移元素の電子配置　重要

典型元素と遷移元素の大きな違いの 1 つは，電子配置である。典型元素は，最外殻に電子が入るのに対し，遷移元素は基本的に，最外殻より内側の殻に電子が入る。そのため，最外殻電子数は 2 (1 のものもあり) となる。

例

| | 電子配置 |
|---|---|
| $_{19}$K　典型元素 | $K^2L^8M^8N^1$ |
| $_{20}$Ca 典型元素 | $K^2L^8M^8N^2$ |
| $_{21}$Sc 遷移元素 | $K^2L^8M^9N^2$ |
| $_{22}$Ti　遷移元素 | $K^2L^8M^{10}N^2$ |

まとめ

・周期表（　　　）～（　　　）族の元素を，遷移元素という。
・遷移元素は基本的に最外殻より内側の殻に電子が入るため，最外殻電子数は（　　　）または1となる。

## Chapter2　遷移元素の特徴

要点

**遷移元素の特徴**

・融点が高く，密度が大きい
・周期表で隣り合う元素同士が似た性質を示す
・複数の酸化数をとる元素が多い
・錯イオンをつくるものが多い
・イオンや化合物は有色のものが多く，単体や化合物は触媒になるものが多い

### ◆ 遷移元素の特徴　重要

(1)　**単体は一般的に融点が高く，密度が大きい**

遷移元素の原子では，最外殻電子だけでなく内側の殻の電子も自由電子となる。よって，典型元素の原子に比べて自由電子の数が多く，金属結合が強くなるため，融点が高い。

また，ほとんどが重金属である。

(2)　**周期表で隣り合う元素同士がよく似た性質を示す**

典型元素は，最外殻電子数が周期的に変化し，同じ族の原子は最外殻電子数が等しくなるため，周期表で縦に並んだ元素(同じ族の元素)同士が似た性質を示す。

それに対して，遷移元素は最外殻電子数が基本的に2(または1)で等しいため，縦に並んだ元素のほかにも，周期表で隣り合った元素の性質も似ている。

(3)　**複数の酸化数をとる元素が多い**

典型元素は一定の酸化数をとる場合が多いのに対して，遷移元素は，同じ元素でも複数の酸化数をとる場合が多い。

⑷　**錯イオンをつくるものが多い**

錯イオンをつくるものは「遷移元素＋両性金属」の金属イオンである。すなわち，ほとんどが遷移元素である。

また，錯イオンは有色のものが多い。

⑸　**イオンや化合物は有色のものが多く，単体や化合物は触媒になるものが多い**

錯イオン同様，イオンや化合物は有色のものが多い。また，単体や化合物は触媒になるものも多い。

**まとめ**

典型元素は同じ族の元素が似た性質を示すが，遷移元素は最外殻電子が基本的に２(または１)であるため，同じ族の元素のほかにも，周期表で（　　　　　　）元素同士も似た性質を示す。

## Chapter3　演習問題

**問**　次の遷移元素の電子配置を書け。

**例**　$_{11}Na$（典型元素）$K^2L^8M^1$

①　$_{21}Sc$　　②　$_{28}Ni$　　③　$_{29}Cu$（最外殻電子数１）

## < Note >

# 第 14 講　PART1　確認問題

問 1　遷移元素は周期表（　ア　）族の元素であり，周期で見ると第（　イ　）周期から登場する。遷移元素は (a)電子配置が典型元素と大きく異なり，最外殻より内側の殻に電子が入る。また，遷移元素は一般的に融点が(　ウ　)，密度が（　エ　）ことのほか，イオンや化合物は（　オ　）のものが多いという特徴がある。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　2 ~ 11　　②　2 ~ 12
③　3 ~ 11　　④　3 ~ 12

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　2　　②　3
③　4　　④　5

(3)　文中の下線部 (a) について，$_{22}$Ti の電子配置として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$K^2L^8M^8N^1$　　②　$K^2L^8M^8N^2$
③　$K^2L^8M^9N^2$　　④　$K^2L^8M^{10}N^2$

(4)　文中の（　ウ　），（　エ　）に当てはまる語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ウ：低く　　エ：小さい
②　ウ：低く　　エ：大きい
③　ウ：高く　　エ：小さい
④　ウ：高く　　エ：大きい

(5) 文中の（　オ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　無色　　　　②　有色

(6) 次の①～④のうち，遷移元素の特徴に該当しないものはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　周期表で隣り合う元素同士の性質は似ていない。

②　複数の酸化数をとる元素が多い。

③　錯イオンをつくるものが多い。

④　触媒になるものが多い。

# PART2　銅

目標　・銅の単体や化合物の性質を押さえていこう！

## Chapter1　単体

要点

銅の単体

合金として使用することが多い。

空気中で加熱→ $CuO$，1000℃以上で加熱→ $Cu_2O$

湿った空気中に放置：緑青(ろくしょう)が生じる。

### ◆ 単体　重要

電気伝導性，熱伝導性が Ag についで大きい，赤色の金属。

・**合金として使用することが多い**。

黄銅：Cu + Zn，青銅：Cu + Sn，白銅：Cu + Ni

・**空気中で加熱すると黒色の酸化銅(Ⅱ)CuO，1000℃以上で加熱すると赤色の酸化銅(Ⅰ)$Cu_2O$ に変化する**。

また，**湿った空気中に放置すると，緑青($CuCO_3$·$Cu(OH)_2$や $CuSO_4$·$3Cu(OH)_2$)が生じる**。

・**希酸とは反応しないが，熱濃硫酸，濃硝酸，希硝酸とは反応する**。(→第 11 講 PART1)

### ◆ 工業的製法　重要

銅は黄銅鉱 $CuFeS_2$ として存在し，以下の 2 つの段階を経て，単体の Cu を取り出す。

(1)　黄銅鉱から粗銅を取り出す

(2)　粗銅から純銅を取り出す (→第 6 講 PART4)

まとめ

・銅を湿った空気中に放置すると，(　　　　)が生じる。

・銅は希酸とは反応しないが，(　　　　　)・(　　　　　)・(　　　　　)とは反応する。

# Chapter2　化合物

要点

銅の化合物

$Cu(OH)_2$：$Cu^{2+}$ を含む水溶液に塩基を加えると生じる，青白色の沈殿。

$CuSO_4 \cdot 5H_2O$：青色結晶。加熱により水和水を失う。

## ◆ 化合物 重要

**水酸化銅（Ⅱ）$Cu(OH)_2$**

$Cu^{2+}$を含む水溶液に NaOHaq や少量の $NH_3$aq などの塩基を加えると生じる，青白色の沈殿。

$$Cu^{2+} + 2OH^- \rightarrow Cu(OH)_2$$

$$Cu^{2+} + 2NH_3 + 2H_2O \rightarrow Cu(OH)_2 + 2NH_4^+$$

また，$Cu(OH)_2$ に，過剰にアンモニア水を加えると，錯イオンを形成して溶解し，深青色の溶液になる。

$$Cu(OH)_2 + 4NH_3 \rightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + 2OH^-$$

**硫酸銅（Ⅱ）五水和物 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$**

青色結晶。加熱により水和水を失い，最終的には無水物の白色粉末に変化する。

$$CuSO_4 \cdot 5H_2O \rightarrow CuSO_4 \cdot 3H_2O \rightarrow CuSO_4 \cdot H_2O \rightarrow CuSO_4$$

（さらに加熱すると，CuO に分解される。）

まとめ

・$Cu(OH)_2$ に過剰にアンモニア水を加えると，錯イオン（　　　　　　　　）を形成して溶解し，（　　　　）色の溶液になる。

・$CuSO_4 \cdot 5H_2O$ の結晶を加熱すると（　　　　　）を失い，最終的には無水物に変化する。

# Chapter3　演習問題

**問**　銅に関する次の①～⑤のうちで誤っているものを，一つ選べ。

① 銅は電気伝導性，熱伝導性が銀についで大きい金属である。

② 銅と亜鉛からなる合金を，黄銅という。

③ 銅を湿った空気中に放置すると，緑青が生じる。

④ 水酸化銅(Ⅱ)の沈殿に十分な量の水酸化ナトリウム水溶液を加えると，錯イオンを形成して溶解する。

⑤ 粗銅から純銅を取り出す過程で，電気分解を利用する。

## < Note >

# 第 14 講 PART2 確認問題

問 1 銅の単体は，(a)合金として使用することが多い。また，空気中で加熱すると酸化銅(Ⅱ)になり，（ ア ）℃以上で加熱すると (b)酸化銅(Ⅰ)になる。また，銅の化合物の 1 つである水酸化銅(Ⅱ)は，$Cu^{2+}$を含む水溶液に塩基を加えることで生じる（ イ ）色の沈殿であり，過剰にアンモニア水を加えると錯イオンを形成して溶解し,（ ウ ）色の溶液になる。硫酸銅(Ⅱ)五水和物も銅の化合物の 1 つであり，もとは（ エ ）色結晶であるが，加熱すると水和水を失い，最終的には無水物の（ オ ）色粉末に変化する。

(1) 文中の下線部 (a) について，銅とスズからなる合金の名称として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黄銅　② 青銅
③ 白銅　④ 緑青

(2) 文中の（ ア ）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 100　② 300
③ 500　④ 1000

(3) 文中の下線部 (b) について，酸化銅(Ⅰ)の色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黒色　② 青色
③ 赤色　④ 緑色

(4) 文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 深青　② 緑白
③ 淡黄　④ 青白

(5) 文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 深青　② 緑白
③ 淡黄　④ 青白

(6) 文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黒　② 青
③ 赤　④ 白

(7) 文中の（　オ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黒　② 青
③ 赤　④ 白

(8) 銅を湿った空気中に放置すると，何を生じるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黄銅　② 青銅
③ 白銅　④ 緑青

# PART3　鉄

目標　・鉄の単体や化合物の性質を押さえていこう！

## Chapter1　単体

要点

鉄の単体

硬く，磁性をもつ金属。Cr や Ni と合金（ステンレス鋼）をつくる。

鉄鉱石を還元すると得られる。

### ◆ 単体　重要

硬く，磁性をもつ金属。

・**高温水蒸気と反応して $H_2$ 発生**。( →第 11 講 PART1)

$$3Fe + 4H_2O \rightarrow Fe_3O_4 + 4H_2$$

・**希酸と反応して $H_2$ 発生**。(→第 11 講 PART1)

$$Fe + H_2SO_4 \rightarrow FeSO_4 + H_2$$

・**Cr や Ni と合金（ステンレス鋼）をつくる**。

Fe に Cr や Ni などを混合してできる合金を，ステンレス鋼という。

サビにくい（腐食されにくい）性質をもち，キッチンや建築材料など多岐にわたり利用されている。

### ◆ 工業的製法　重要

鉄鉱石（不純物として主に $SiO_2$ を含む）の中でも，主に赤鉄鉱（主成分 $Fe_2O_3$）や磁鉄鉱（主成分 $Fe_3O_4$）を還元することで，単体の鉄を取り出す。

(1)　**鉄鉱石をコークス（主成分 C）や石灰石（主成分 $CaCO_3$）とともに溶鉱炉に入れ，熱い空気を吹き込む。**

→コークスが高温で燃えて CO になり，CO の還元力で酸化鉄が還元されて，銑鉄(せんてつ)（C 含有率の高い鉄）になる。

$$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$$

※不純物　$CaCO_3$ の熱分解により生じる CaO と不純物の $SiO_2$ が反応し，
スラグ ($CaSiO_3$) として融解した銑鉄の上層に浮く。

$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$　　$CaO + SiO_2 \rightarrow CaSiO_3$

(2)　**銑鉄を転炉に入れ，酸素を送り込んで加熱する**

→銑鉄に含まれていた C が酸化されて $CO_2$ となり取り除かれ，C 含有率の低い**鋼**(こう)**（鋼鉄**(こうてつ)**）**が得られる。

鋼（鋼鉄）は炭素含有率が非常に低く，弾性に富み，丈夫である。

**まとめ**

・鉄の単体は（　　　　　）や（　　　　　）などの鉄鉱石を還元して取り出す。

・鉄とクロムやニッケルからなる合金を，（　　　　　　　）という。

# Chapter2　イオン

**要点**

鉄のイオン

$Fe^{2+}$：淡緑色。$K_3[Fe(CN)_6]$aq を加えると濃青色沈殿を生じる。

$Fe^{3+}$：黄褐色。$K_4[Fe(CN)_6]$aq を加えると濃青色沈殿を生じる。

KSCNaq を加えると血赤色の溶液に変化する。

## ◆ イオン　重要

鉄のイオンには $Fe^{2+}$ と $Fe^{3+}$（空気中で安定）があり，以下のような違いがある。

| | | $Fe^{2+}$ | $Fe^{3+}$ |
|---|---|---|---|
| 色 | | 淡緑色 | 黄褐色 |
| 酸化力・還元力 | | 還元剤 | 酸化剤 |
| 水溶液との反応 | NaOHaq（水酸化ナトリウム水溶液）またはアンモニア水 | $Fe(OH)_2$ 緑白色沈殿 | 水酸化鉄(Ⅲ) 赤褐色沈殿 |
| | $K_4[Fe(CN)_6]$aq (ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム水溶液) | 青白色沈殿 | 濃青色沈殿 |
| | $K_3[Fe(CN)_6]$aq (ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液) | 濃青色沈殿 | 褐色溶液 |
| | KSCNaq（チオシアン酸カリウム水溶液） | 変化なし | 血赤色溶液 |

まとめ

| | | $Fe^{2+}$ | $Fe^{3+}$ |
|---|---|---|---|
| 色 | | (　　　　　) | (　　　　　) |
| 水溶液との反応 | $K_4[Fe(CN)_6]aq$ | 青白色沈殿 | (　　　　　) |
| | $K_3[Fe(CN)_6]aq$ | (　　　　　) | 褐色溶液 |
| | KSCNaq | 変化なし | (　　　　　) |

## Chapter3　化合物

要点

鉄の化合物

$Fe_2O_3$：単体の鉄が湿った空気中で酸化されると生じる，赤褐色の酸化物。

$Fe_3O_4$：単体の鉄に高温水蒸気を吹き付けたり，鉄をバーナーで焼いたりすると生じる，黒色で磁性を示す酸化物。

### ◆ 化合物　重要

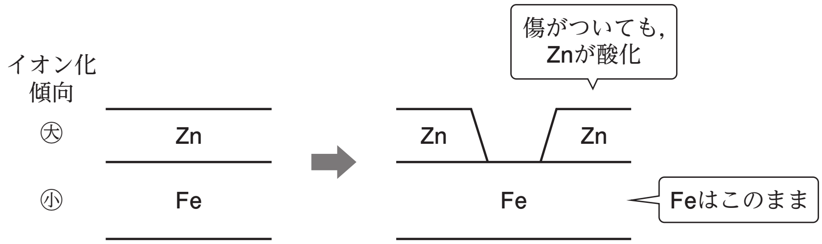
**酸化鉄(Ⅲ)$Fe_2O_3$**

単体の鉄が湿った空気中で酸化されると生じる赤褐色の酸化物(サビ)。赤サビは酸化鉄(Ⅲ)$Fe_2O_3$ を含む。

赤サビは鉄の表面に密着していないため内部が保護されず，どんどん鉄の酸化が進行する。その対策として，内部を保護するために，鉄にメッキを施す。

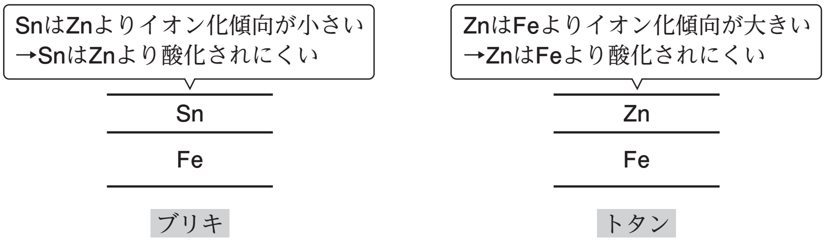
トタン：鉄の表面を亜鉛で覆ったもの

鉄よりも亜鉛の方がイオン化傾向が大きい。そのため，亜鉛の方が酸化されやすく，傷がついても亜鉛が残っている間は，鉄の酸化が進行しない。

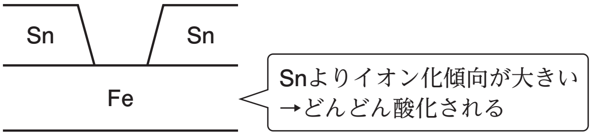


**ブリキ**：鉄の表面をスズで覆ったもの

亜鉛よりもスズの方がイオン化傾向が小さい。そのため，傷がついていない状態では，トタンより酸化されにくく安定である。




しかし，スズと鉄では鉄の方がイオン化傾向が大きいため，鉄の方が酸化されやすい。そのため，傷がつくと鉄の酸化が進んでしまう。




**四酸化三鉄 $Fe_3O_4$**

単体の鉄に高温水蒸気を吹き付けたり，鉄をバーナーで焼くと生じる黒色で磁性を示す酸化物。黒サビともいわれる。鉄の表面に密着するため，内部が保護される。

**酸化鉄（Ⅱ）FeO**

天然には存在しない。$Fe_2O_3$ を還元することで得られる黒色の酸化物。

**まとめ**

- $Fe_2O_3$ は，鉄が湿った空気中で酸化されると生じる（　　　　）色の酸化物。
- $Fe_2O_3$ は鉄の表面に密着せず内部が保護されないため，メッキを施す。

（　　　　　）：鉄の表面を亜鉛で覆ったもの

（　　　　　）：鉄の表面をスズで覆ったもの

# Chapter4　演習問題

**問**　鉄に関する次の①～⑤のうちで誤っているものを，一つ選べ。

① 鉄は高温水蒸気と反応して，水酸化鉄(Ⅲ)に変化する。

② 鉄とクロムとニッケルなどによる合金を，ステンレス鋼という。

③ $Fe^{2+}$ は淡緑色，$Fe^{3+}$ は黄褐色のイオンである。

④ $Fe^{3+}$ を含む水溶液に KSCNaq を加えると，血赤色の溶液に変化する。

⑤ トタンの表面に傷がついても，亜鉛が残っている間は鉄の酸化は進行しない。

< Note >

# 第 14 講　PART3　確認問題

問 1　(a)鉄の単体が湿った空気中で酸化されると，(b)赤褐色の酸化物が生じる。赤サビは，その赤褐色の酸化物を含む。赤サビは鉄の表面に密着していないため内部が保護されず，そのままにしておくと鉄の酸化が進行しやすい。その対策として，鉄に (c)メッキを施し，内部を保護することが多い。

一方，鉄の単体に高温水蒸気を吹き付けたり，バーナーで焼いたりすると，(d)黒色の酸化物（黒サビ）が生じる。黒サビは鉄の表面に密着しているため，内部は保護されている。

(1)　文中の下線部 (a) について，鉄の単体を取り出すときに得られる炭素含有率が低い鉄を何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　鉄鉱石　　②　スラグ
③　鋼　　④　銑鉄

(2)　文中の下線部 (b) について，赤褐色の酸化物として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　$FeO$　　②　$Fe_2O_3$
③　$Fe_3O_4$

(3)　文中の下線部 (c) について，メッキのうち，トタンは鉄の表面を何で覆ったものか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　亜鉛　　②　スズ
③　銅　　④　アルミニウム

(4) 文中の下線部 (d) について，黒色の酸化物（黒サビ）として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① FeO　② $Fe_2O_3$

③ $Fe_3O_4$

(5) ステンレス鋼は Fe と Ni と何からできた合金か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① K　② Cr

③ Sn　④ Pb

問２　$Fe^{2+}$は淡緑色のイオンで，ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム水溶液を加えると（　ア　）色沈殿を生じる。また，$Fe^{3+}$は黄褐色のイオンで，ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム水溶液を加えると（　イ　）色沈殿を生じ，チオシアン酸カリウム水溶液を加えると（　ウ　）色の溶液に変化する。

(1) 文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 赤褐　② 血赤

③ 濃青　④ 緑白

(2) 文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 赤褐　② 血赤

③ 濃青　④ 緑白

(3) 文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 淡黄　② 血赤

③ 濃青　④ 緑白

# 第 15 講　有機化合物の特徴と分類
# PART1　元素分析

目標　・元素分析の実験と計算をしっかりと理解しよう！

## Chapter1　有機化合物の構造決定

要点

有機化合物の構造決定

(1)　元素分析　　(2)　分子量測定

(3)　分子式から異性体を考慮　　(4)　反応から官能基を決定

### ◆ 有機化合物の構造決定　重要

有機化合物の構造決定は，以下の 4 つの段階に大別できる。

(1)　元素分析　→　組成式が決定　例　$CH_2O$

(2)　分子量測定　→　分子量が決定（全て理論化学で学ぶ）　例　分子量 60

(1)・(2)より分子式が決定

例　$\underbrace{(CH_2O)}_{式量30}{}_n = 60$　$n = 2$　よって，分子式は $C_2H_4O_2$

(3)　分子式から異性体を考慮する　→　有機化合物の候補が決定

例　$CH_3COOH$（酢酸）もしくは $HCOOCH_3$（ギ酸メチル）

(4)　反応から官能基を決定する　→　有機化合物が決定

例　$NaHCO_3aq$ と反応して気体が発生 → $-COOH$ あり

以上より，有機化合物は $CH_3COOH$（酢酸）と決定できる。

まとめ

元素分析から，その有機化合物の（　　　　　）が決定する。

# Chapter2　元素分析（計算）

**要点**

元素分析（計算）

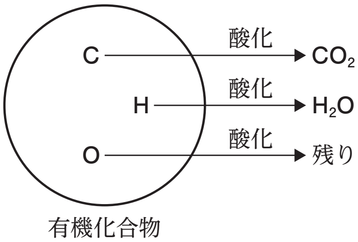
・有機化合物を燃焼させたときに生じる $CO_2$ と $H_2O$ の質量から，各元素の質量を求める。

・各元素の質量を物質量に変え，最も簡単な整数比にする。

## ◆ 元素分析とは　重要

元素分析とは，有機化合物の組成式を決定する実験である。

そのためには構成元素を別々に取り出す必要があり，その方法が有機化合物の酸化(燃焼)である。




## ◆ 元素分析（計算）　重要

まず，有機化合物 ( 構成元素 C・H・O) を燃焼させたときに生じる $CO_2$ と $H_2O$ の質量から，各元素の質量を求める。

燃焼させる有機化合物の質量を $W$ とすると，各元素の質量は以下のようになる。

C 原子の質量 $W_C$…$CO_2$ の質量の $\frac{12}{44}$

H 原子の質量 $W_H$…$H_2O$ の質量の $\frac{2}{18}$

O 原子の質量 $W_O$…$W - W_C - W_H$

次に，各元素の質量を原子量で割って物質量に変え，それらを最も簡単な整数比にする。

$$n_C : n_H : n_O = \frac{W_C}{12} : \frac{W_H}{1} : \frac{W_O}{16} = x : y : z \text{（整数比）}$$

これより，組成式が決定する。

組成式…$C_xH_yO_z$

**まとめ**

・元素分析の計算

燃焼させる有機化合物の質量 $W$

C原子の質量 $W_C$…$CO_2$ の質量の（　　　）

H原子の質量 $W_H$…$H_2O$ の質量の（　　　）

O原子の質量 $W_O$…（　　　　　　　　　）

# Chapter3　元素分析（実験装置）

**要点**

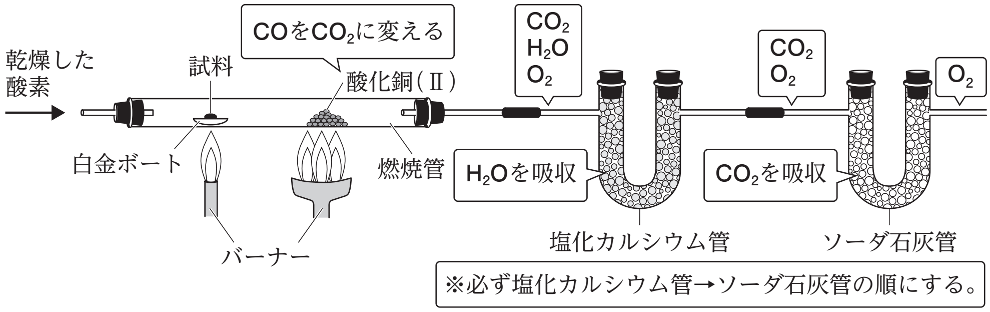
元素分析（実験装置）

$H_2O$ を塩化カルシウム，$CO_2$ をソーダ石灰に吸収させて取り出す。

塩化カルシウムとソーダ石灰の順番を，逆にしてはいけない。

## ◆ 元素分析（実験装置）　重要

以下の図のように，乾燥した酸素を送り込みながら，酸化銅(Ⅱ)CuO とともに試料（構成元素 C・H・O の有機化合物）を燃焼させる。




$CO_2$

$CO_2$ は酸性の気体であるため，塩基性のソーダ石灰（CaO ＋ NaOH）に吸収させて取り出す。

$H_2O$

中性乾燥剤の $CaCl_2$ に吸収させて取り出す。

注意点

CuO

不完全燃焼により生じる CO を酸化して $CO_2$ に変え，ソーダ石灰に吸収させる役割。

**$CaCl_2$管とソーダ石灰管**

ソーダ石灰は, $CO_2$ だけでなく $H_2O$ も吸収してしまう。そのため, 順番を逆にしてはいけない。(C 原子と H 原子を別々に取り出すことができなくなる)

まとめ

元素分析の実験装置

・$CO_2$ を（　　　　　　　），$H_2O$ を（　　　　　　　　　）に吸収させて取り出す。

・吸収管の順番は（　　　　　　　　）管が先，（　　　　　　）管が後である。

この順番は逆にしてはいけない。

## Chapter4　演習問題

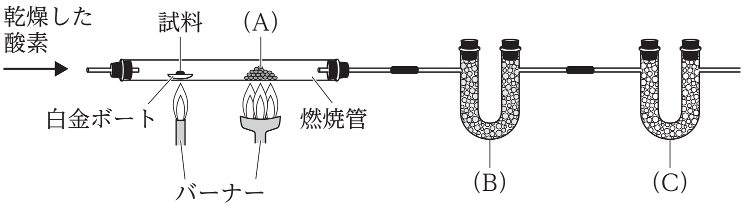
問　C・H・O 原子からなる有機化合物 A 81.0mg を完全燃焼させたところ，198mg の二酸化炭素と 81.0mg の水が得られた。

この結果から，有機化合物 A の組成式を求めよ。

原子量：H 1，C 12，O 16

# 第15講　PART1　確認問題

問１　図のような実験装置を使い，試料（C・H・O 原子からなる有機化合物）を燃焼させた。このとき，次の問いに答えよ。




⑴　図の (A) に該当する物質として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　酸化鉄(Ⅱ)　　②　酸化銅(Ⅱ)

③　硫酸銅(Ⅱ)

⑵　図の (B)，(C) に該当する物質の組み合わせとして適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　(B)　ソーダ石灰　　(C)　塩化カルシウム

②　(B)　塩化カルシウム　　(C)　ソーダ石灰

⑶　図の (A) ～ (C) のうち，この実験において $H_2O$ を吸収する役割をもつものはどれか。次の①～③のうちから一つ選べ。

①　(A)　　②　(B)

③　(C)

(4) 試料（C・H・O 原子からなる有機化合物）2.96mg を完全燃焼させたところ，7.04mg の二酸化炭素と 3.60mg の水が得られた。この結果から，試料の組成式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。ただし，原子量は H：1.0，C：12，O：16 とする。

① $C_3H_6O$　　② $C_3H_8O$

③ $C_4H_8O$　　④ $C_4H_{10}O$

# PART2　有機化合物の構造

目標　・有機化合物の構造と表し方をしっかりと学ぼう！

## Chapter1　原子価

要点

原子価

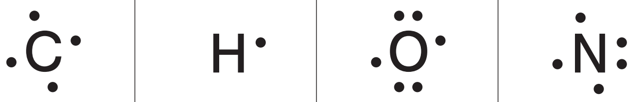
原子がもつ結合の手の数で，不対電子の数に相当する。

### ◆ 原子価　重要

原子がもつ結合の手の数が，**原子価**である。基本的に不対電子の数に相当する。

ここでは，有機化合物に大きく関与する原子の原子価を確認しておく。

| | C原子 | H原子 | O原子 | N原子 |
|---|---|---|---|---|
| 原子価 | 4 | 1 | 2 | 3 |



有機化合物の主役は C 原子であり，その原子価は 4 である。そのため，最大で 4 つの原子や原子団と結合できる。そのことに注目して，この後，有機化合物の構造を確認していく。

まとめ

原子がもつ結合の手の数を（　　　　　）といい，これはその原子の（　　　　　）の数に相当する。

# Chapter2　有機化合物の構造（正四面体）

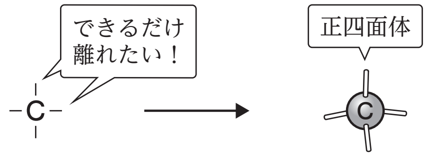
**要点**

<u>有機化合物の構造（正四面体）</u>

C 原子の周りに電子対が 4 対存在するときの構造は，正四面体である。

## ◆ 正四面体になる有機化合物　重要

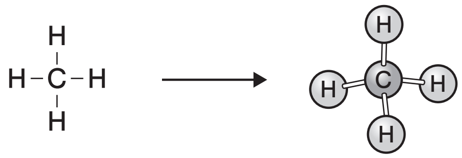
<u>C 原子の周りに電子対が 4 対存在するときは，正四面体となる。</u>




通常の表記　　実際の形

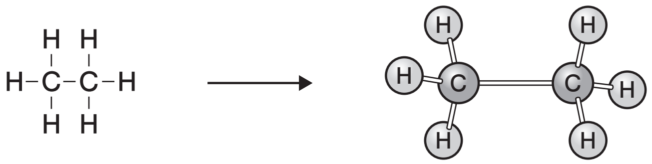
**例**

メタン$CH_4$



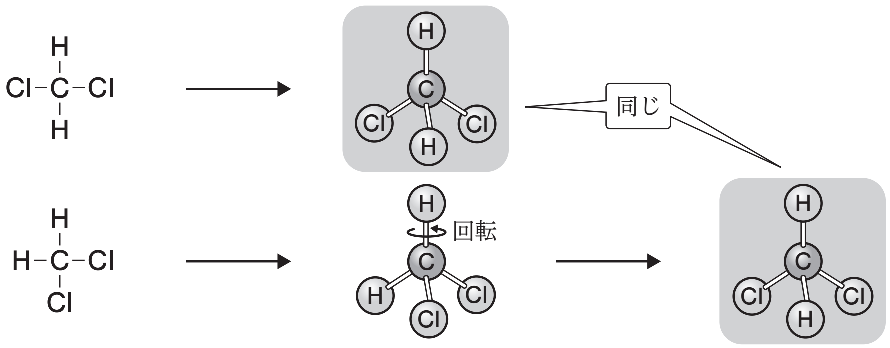
通常の表記　　実際の形

エタン$C_2H_6$



通常の表記　　実際の形

同様にジクロロメタン $CH_2Cl_2$ も正四面体であるため，以下に示す 2 つの構造式は同じものとわかる。




**まとめ**

C 原子の周りにある電子対が 4 対のとき，その構造は（　　　　　　）となる。

# Chapter3　有機化合物の構造（正三角形）

**要点**

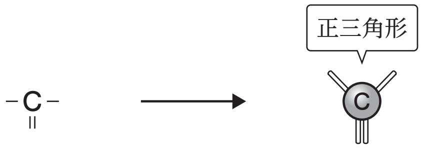
有機化合物の構造（正三角形）

C 原子の周りに電子対が３対存在するときの構造は，正三角形である。

## ◆ 正三角形になる有機化合物　重要

C 原子の周りに電子対が３対存在するときは，正三角形となる。

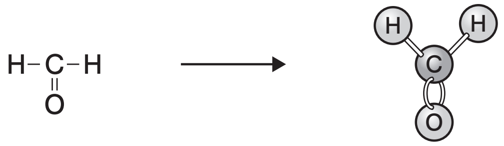
ただし，二重結合は「１対」と考える。




通常の表記　　実際の形

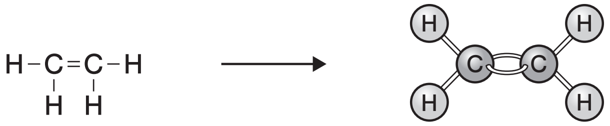
**例**

ホルムアルデヒド$CH_2O$



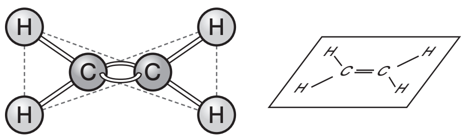

通常の表記　　実際の形

エチレン$C_2H_4$

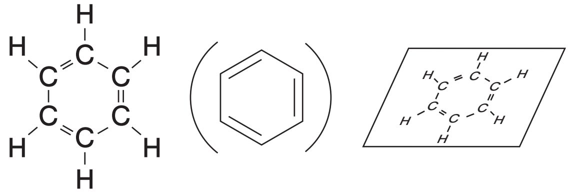



通常の表記　　実際の形

下図のように，C=C 結合に直結している原子までは同一平面上に並ぶ。



ベンゼン$C_6H_6$



ベンゼンは，全ての原子が C=C 結合に直結しているため，全ての原子が同一平面上に存在する。

※ベンゼンの炭素原子の結合は，実際には単結合と二重結合の間となる。

**まとめ**

C 原子の周りにある電子対が 3 対のとき，その構造は（　　　　　　）となる。

## Chapter4　有機化合物の構造（直線）

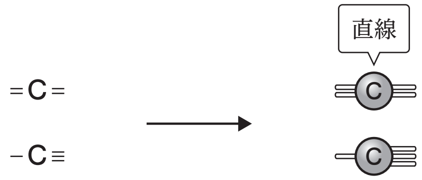
**要点**

有機化合物の構造（直線）

C 原子の周りに電子対が 2 対存在するときの構造は，直線である。

### ◆ 直線になる有機化合物　重要

C 原子の周りに電子対が 2 対存在するとき，その構造は直線となる。ただし，二重結合や三重結合はそれぞれ「1 対」と考える。




通常の表記　　実際の形

**例**

アセチレン$C_2H_2$

通常の表記　　実際の形

### ◆ 炭素原子間の結合の長さ　重要

C 原子間の結合は全部で 4 種類（C−C，C⎓C（ベンゼン），C＝C，C≡C）があり，長さは以下の順となる。

C−C ＞ C⎓C ＞ C＝C ＞ C≡C

**まとめ**

C 原子の周りにある電子対が 2 対のとき，その構造は（　　　　　）となる。

## Chapter5　演習問題

問　エタン $C_2H_6$ の H 原子を 2 つ，Cl 原子で置き換えた化合物は，何種類存在するか。

< Note >

# 第 15 講　PART2　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1) 窒素原子の原子価として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1　② 2
③ 3　④ 4

(2) ホルムアルデヒド $CH_2O$ の分子の形として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 正四面体　② 正三角形
③ 直線

(3) アセチレン $C_2H_2$ の分子の形として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 正四面体　② 正三角形
③ 直線

(4) メタン $CH_4$ の分子の形として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 正四面体　② 正三角形
③ 直線

(5) メタン $CH_4$ の H 原子を 2 つ，Cl 原子で置き換えた化合物は何種類存在するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1 種類　② 2 種類
③ 3 種類　④ 4 種類

⑹　炭素原子間の結合には，全部で次の４種類が存在する。これらの長さを長い順に並べると，どのようになるか。最も適当なものを，後の①～④のうちから一つ選べ。ただし，d はベンゼン環を構成する炭素原子間の結合を表している。

a. C−C

b. C＝C

c. C≡C

d. C⎓C

①　a＞b＞c＞d　　②　a＞d＞b＞c

③　d＞c＞b＞a　　④　d＞a＞b＞c

# PART3　構造異性体①

目標　・構造異性体の書き方を学び，手を動かして書いてみよう！

## Chapter1　構造異性体の書き方

要点

構造異性体の書き方

・C 骨格を書き出す。

・官能基（特別な性質をもつ原子や原子団）をつける。

### ◆ 構造異性体　重要

同じ分子式で表すことができる有機化合物を，**異性体**という。異性体の中で構造式が異なるもの，すなわち，原子の結合の配列が異なるものを，**構造異性体**という。

構造異性体は「書くことができるかどうか」が重要である。書き方を確認したら，手を動かして書く練習をしよう。

### ◆ 構造異性体の書き方　重要

構造異性体を書く流れは，以下の２段階である。

(1)　C 骨格を書く

(2)　官能基（特別な性質をもつ原子や原子団）をつける

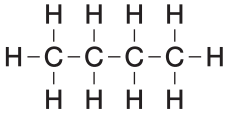
例　$C_4H_{10}$（$C_nH_{2n+2}$）

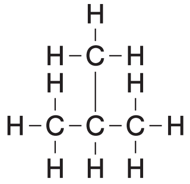
分子式 $C_nH_{2n+2}$ の化合物は，官能基はもっていない。

C 骨格の数が異性体の数となる。C 数４の C 骨格は，以下の２種類となる。

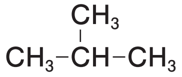
直鎖　　　枝分かれ

この２つの C 骨格の有機化合物($C_4H_{10}$ の異性体)は，以下のように表す。





$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$



$CH_3CH_2CH_2CH_3$　　　$CH_3CH(CH_3)_2$

また，官能基をもつ場合は，書き出した C 骨格に官能基をつけていく。これらに関しては以降の Chapter で確認していく。

**まとめ**

構造異性体を書く流れは，以下の２段階である。

(1)　(　　　　　　　)を書く

(2)　(　　　　　　　)をつける

## Chapter2　官能基をもつ構造異性体 ($C_4H_{10}O$)

**要点**

官能基をもつ構造異性体 ($C_4H_{10}O$)

$C_4H_{10}$ の C−H 結合または C−C 結合に O 原子を入れる。(C−O−H or C−O−C)

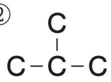
### ◆ $C_4H_{10}O(C_nH_{2n+2}O)$ 重要

$C_4H_{10}O$ の構造異性体は，$C_4H_{10}$ の C−H 結合または C−C 結合に，O 原子(原子価２：−O−）を入れる。すなわち，C−O−H または C−O−C のいずれかである。

C−O−H　C原子に−OHをつけると考える（C−OH）

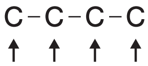
C数4のC骨格は，以下の2種類である。

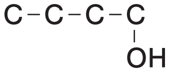
① C−C−C−C

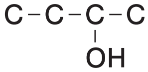
②


①のC骨格

−OHをつける場所は右の(i)〜(iv)の4種類が考えられるが，(i)と(iv)，(ii)と(iii)は左右対称であるため，同じ構造である。


(i) (ii) (iii) (iv)

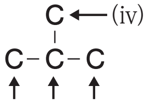

(i)＝(iv)


(ii)＝(iii)

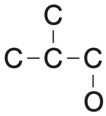
以上より2種類となる。

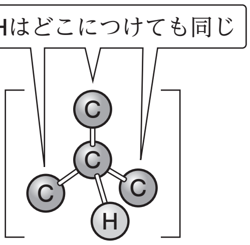
②のC骨格

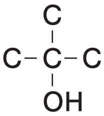
−OHをつける場所は右の(i)〜(iv)の4種類が考えられるが，正四面体であるため，回転させると(i)と(iii)と(iv)は同じ構造である。



(i) (ii) (iii)


(i)＝(iii)＝(iv)



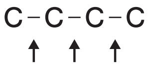


(ii)

以上より2種類となる。

C−O−C

①のC骨格

−O−を入れる場所は右の(i)〜(iii)の3種類が考えられるが，(i)と(iii)は左右対称であるため，同じ構造である。


(i) (ii) (iii)

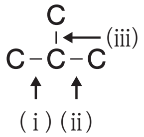
C−O−C−C−C
(i)＝(iii)

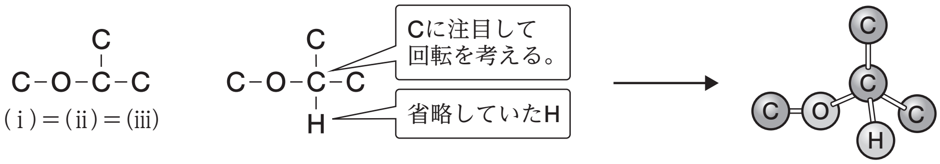
C−C−O−C−C
(ii)

以上より2種類となる。

②のC骨格

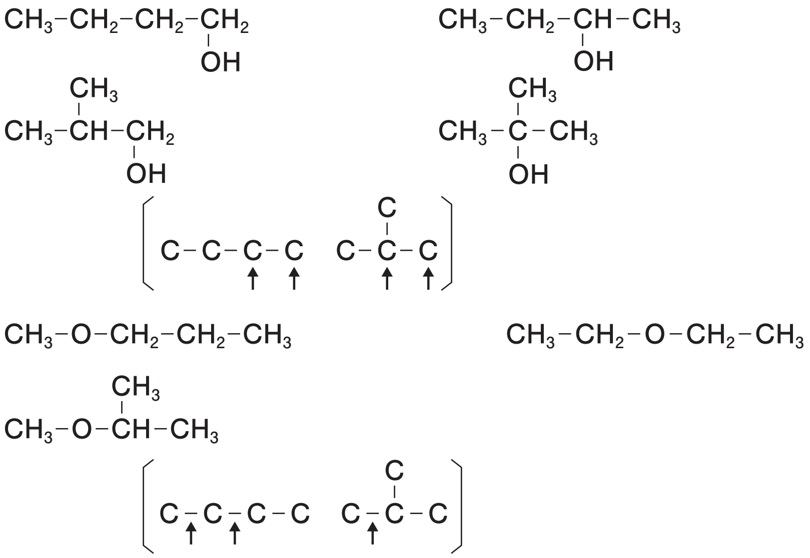
−O−を入れる場所は右の(i)～(iii)の3種類が考えられるが，正四面体であるため，回転させると全て同じ構造である。




以上より1種類となる。

これらをまとめると，$C_4H_{10}O$ の構造異性体は，以下の7種類となる。



まとめ

$C_4H_{10}O$ の構造異性体は，$C_4H_{10}$ の（　　　　）結合，または（　　　　）結合にO原子を入れる。

# Chapter3　二重結合や環状構造をもつ構造異性体 ($C_4H_8$)

**要点**

<u>二重結合や環状構造をもつ構造異性体（$C_4H_8$）</u>

$C_4H_{10}$ の C−C 結合の 1 つを，C=C 結合に変える。または環状構造。

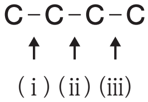
## ◆ $C_4H_8(C_nH_{2n})$ 重要

$C_4H_8$ の構造異性体は C=C 結合を 1 つもつか，または環状構造である。そのため，<u>$C_4H_{10}$ の C−C 結合の 1 つを C=C 結合に変えたものと，環状構造が構造異性体となる。</u>

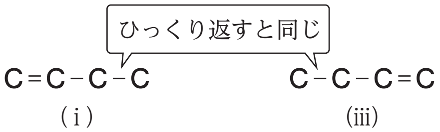
### C=C

C 数 4 の C 骨格は，以下の 2 種類である。

**①の C 骨格**



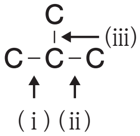

C=C を入れる場所は右の(i)〜(iii)の 3 種類が考えられるが，(i)と(iii)は左右対称であるため，同じ構造である。



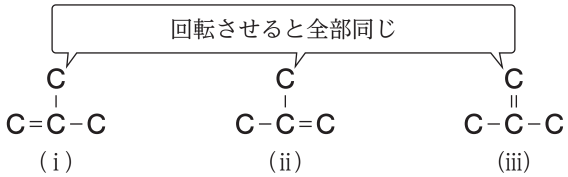

以上より，①の C 骨格をもつ異性体は以下の 2 種類となる。

C=C−C−C　　　　C−C=C−C
(i)=(iii)　　　　(ii)

**②の C 骨格**




C=C を入れる場所は右の(i)〜(iii)の 3 種類が考えられるが，平面三角形であるため，回転させると全て同じ構造であることがわかる。



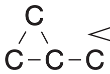

以上より 1 種類となる。

環状構造

環状構造を考えるときも，環に使用するC数が多いものから順に書いていく。

(i)　C数4の環：四角形

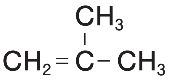
(ii)　C数3の環：三角形（＋残ったC 1つ）

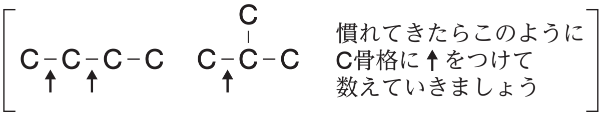


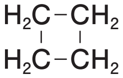

以上の2種類となる。

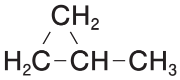
まとめると，$C_4H_8$の構造異性体は以下の5種類となる。

$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$　　$CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3$







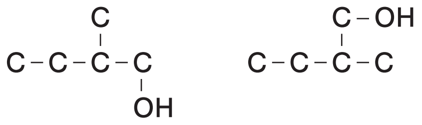
まとめ

$C_4H_8$の構造異性体は，(　　　　　)結合を1つもつか，または(　　　　　　)である。

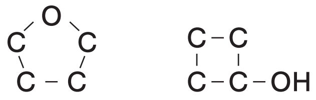
# Chapter4　演習問題

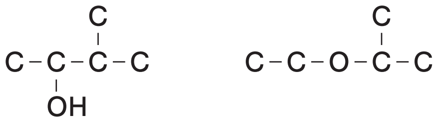
**問**　次の①～⑤の組み合わせのうち，構造異性体の関係にないものを，一つ選べ。
ただし，C骨格と官能基以外のH原子は省略してある。

①

②


③

④


⑤


< Note >

# 第 15 講　PART3　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　$C_3H_8O$ の構造異性体の数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　2 種類　　②　3 種類
③　4 種類　　④　5 種類

(2)　$C_4H_8$ の構造異性体の数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

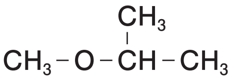
①　3 種類　　②　4 種類
③　5 種類　　④　6 種類

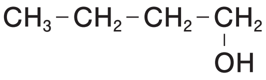
(3)　次の①～④のうち，官能基をもっていない化合物の分子式として最も適当なものを，一つ選べ。

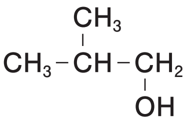
①　$C_3H_8O$　　②　$C_4H_{10}O$
③　$C_5H_{12}$　　④　$C_5H_{12}O$

(4)　次の①～④の化合物の中で，互いに構造異性体の関係にないものが 1 つある。それはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　$CH_3-CH_2-O-CH_2-CH_2-CH_3$

②


③


④


# PART4　構造異性体②

目標　・手を動かして，C骨格を書いてみよう！

## Chapter1　C骨格の書き出し方（C数5鎖状）

要点

C骨格の書き出し方

・長いものから書き出す。

・書き終わったあと，一番長い骨格（主鎖）がどこかを確認する。

### ◆ C骨格の書き出し方　重要

C骨格を書き出すときは，以下の2点に気をつける。

・長いものから書き出していく

・書き終わったあと，一番長い骨格（主鎖）がどこかを確認する

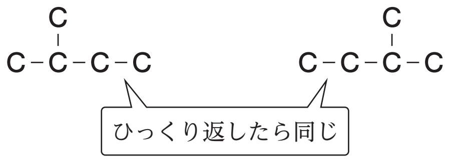
**例**　C数5のC骨格（鎖状）

「長いものから」書き出していく。

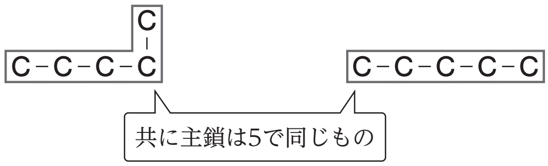
主鎖5　（一番長いもの）1種類　　C−C−C−C−C

主鎖4　C−C−C−C に「残りのC（1個）」をつける　1種類

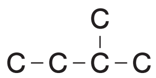
主鎖が左右対称なので，「残りのC」は左半分と右半分のどちらにつけても同じものになる。




また，**「残りのC」を主鎖の末端につけてはいけない**。（主鎖5と同じになる）

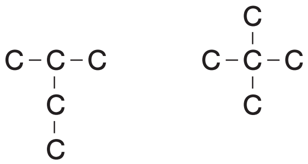



以上より，主鎖4のC骨格は右の1種類のみである。

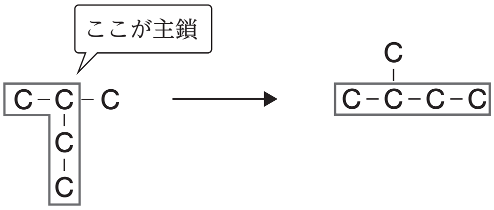


主鎖3　C−C−Cに「残りのC(２個)」をつける　1種類

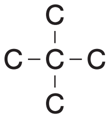
主鎖が左右対称なので，左半分と右半分のどちらに「残りのC」をつけても同じである。また，「残りのC」は末端につけてはいけないため，真ん中のCに２つともつけると，以下の２種類が考えられる。



しかし，左のC骨格は主鎖が４であるため，既に書き出したC骨格と同じである。




以上より，主鎖３のC骨格は右の１種類である。



主鎖２，主鎖１は存在しないため，C数５のC骨格（鎖状）は３種類である。

**まとめ**

C骨格を書くときの注意点

・(　　　　　　　　　　)書き出す。

・書き終わったあと，(　　　　　)がどこかを確認する。

# Chapter2　C骨格（C数６鎖状）

**要点**

C骨格の書き出し方

・長いものから書き出す。

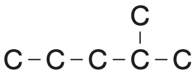
・書き終わったあと，主鎖がどこかを確認する。

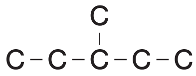
## ◆ C数６のC骨格（鎖状）　重要

「C骨格の書き出し方」を思い出しながら手を動かして書いていく。

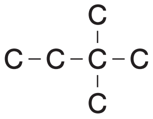
主鎖６　（一番長いもの）１種類　　C−C−C−C−C−C

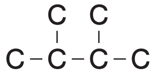
主鎖５　C−C−C−C−C に「残りのC（１個）」をつける　２種類





主鎖４　C−C−C−C に「残りのC（２個）」をつける　２種類





以上より，C数６のC骨格（鎖状）は５種類となる。

# Chapter3　C骨格（C数７鎖状）

**要点**

C 骨格の書き出し方

・長いものから書き出す。

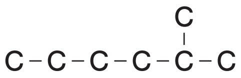
・書き終わったあと，主鎖がどこかを確認する。

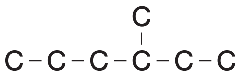
## ◆ C数７のC骨格（鎖状）　重要

「C 骨格の書き出し方」を思い出しながら，手を動かして書いていく。

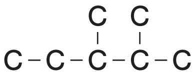
主鎖７　（一番長いもの）１種類　　C−C−C−C−C−C−C

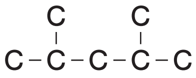
主鎖６　C−C−C−C−C−C に「残りのC（１個）」をつける　２種類

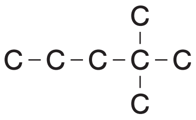


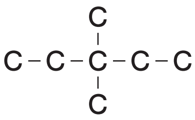


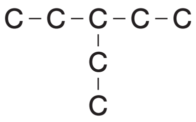
主鎖５　C−C−C−C−Cに「残りのC（２個）」をつける　５種類



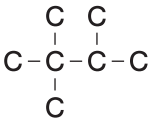








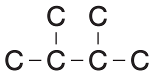
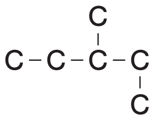
主鎖４　C−C−C−Cに「残りのC（３個）」をつける　１種類

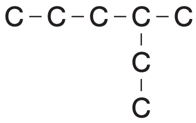
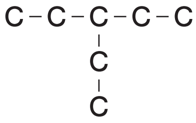


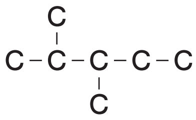
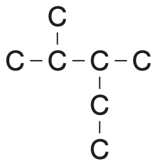
以上より，C 数７の C 骨格（鎖状）は９種類となる。

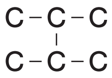
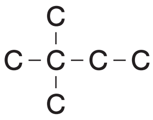
# Chapter4　演習問題

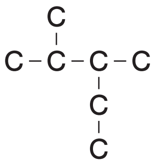
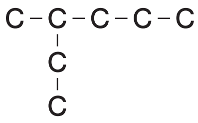
問　次の①～⑤の組み合わせのうち，C 骨格が同じ組み合わせになっているものを，一つ選べ。

①



②



③



④



⑤



< Note >

# 第15講 PART4　確認問題

問1　Cの数が6個の鎖状のC骨格は，主鎖6のものが（　ア　）種類存在する。また，主鎖5のものは（　イ　）種類，主鎖4のものは（　ウ　）種類存在するので，合計で（　エ　）種類のC骨格が存在することになる。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1　② 2
③ 3　④ 4

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1　② 2
③ 3　④ 4

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1　② 2
③ 3　④ 4

(4)　文中の（　エ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 3　② 4
③ 5　④ 6

(5)　C数5の鎖状のC骨格は，全部で何種類存在するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 2種類　② 3種類
③ 4種類　④ 5種類

(6) C 数 7 の鎖状の C 骨格のうち，主鎖 6 のものは何種類存在するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1 種類　② 2 種類
③ 3 種類　④ 4 種類

# PART5　立体異性体①

目標　・シス-トランス異性体を，見つけられるようになろう！

## Chapter1　シス-トランス異性体（幾何異性体）

要点

シス-トランス異性体（幾何異性体）

C=C 結合が回転できないことが原因で生じる，立体異性体

### ◆ 立体異性体　重要

原子団の空間配列が異なる異性体を，**立体異性体**という。

立体異性体は，立体構造が異なるだけなので，構造式（一本の線）で表記すると同じに見える。そのため「見つけることができるか」が問われる。

また，立体異性体の情報から官能基の場所を特定できるため，立体異性体の情報は構造決定において重要な情報となる。

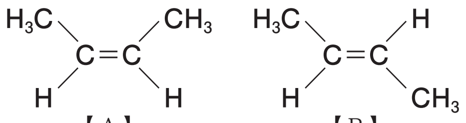
### ◆ シス-トランス異性体（幾何異性体）　重要

分子式 $C_4H_8$ の構造異性体の 1 つに，例に示す化合物がある。

例　$CH_3-CH=CH-CH_3$

この化合物は，構造式（一本の線）で表記すると，この 1 種類しか無い。

しかし，(エチレンの構造を思い出しながら) 正確な立体構造を書くと，以下の 2 種類が存在することがわかる。




【A】　【B】

この 2 つは，C 骨格の角度（幾何）が異なり，同じ方に折れ曲がっている A をシス形，異なる方に折れ曲がっている B をトランス形という。そして，A と B のようにシス形とトランス形からなる異性体を，**シス-トランス異性体（幾何異性体）**という。

### ◆ シス形とトランス形が異なる理由　重要

シス形とトランス形が別の構造になるのは，C=C 結合が回転できないためである。C=C 結合は，単結合のように自由に回転できないことを意識しておこう。

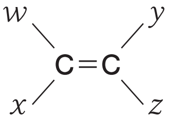
**まとめ**

シス-トランス異性体(幾何異性体)は，(　　　　　　　　　　　　　　　　　)ことにより生じる立体異性体である。

## Chapter2　シス-トランス異性体(幾何異性体)が生じる条件・性質

**要点**

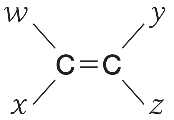
シス-トランス異性体（幾何異性体）




$w \neq x$ かつ $y \neq z$

### ◆ シス-トランス異性体（幾何異性体）が生じる条件　重要

以下の条件を満たすとき，シス-トランス異性体（幾何異性体）が生じる。




$w \neq x$ かつ $y \neq z$

見つけることができるよう，練習しておこう。

**例**　シス-トランス異性体(幾何異性体)がある？ ない？

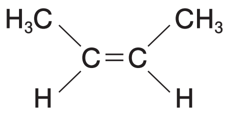
$CH_3CH=C(CH_3)_2$　　ない

$CHCl=CHCH_2COOH$　　ある

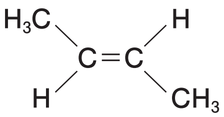
## ◆ シス-トランス異性体（幾何異性体）の性質　重要

シス形とトランス形では，密度や融点・沸点といった物理的性質が異なる。

**例**



比べて沸点が高い

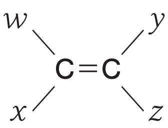


比べて沸点が低い

基本的に，シス形はトランス形に比べて極性が大きくなる。

**まとめ**

シス-トランス異性体 ( 幾何異性体 ) が生じる条件



(　　　　　　　　　　　　　　)

# Chapter3　演習問題

問　次の①～⑤のうち，シス-トランス異性体(幾何異性体)が存在するのはどれか。全て選べ。

① $CH_2=CHCl$

② $CH_3CH_2CH=CHCH_2CH_3$

③ $CHCl=C(CH_2OH)CH_2OH$

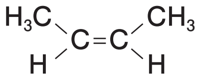
④ $CH(CH_3)_2CH=C(CH_3)CH_2CH_3$

⑤ $CH(COOH)=CHCOOH$

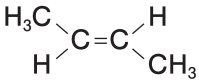
< Note >

# 第 15 講　PART5　確認問題

問 1　$CH_3-CH=CH-CH_3$ には，以下に示すシス-トランス異性体(幾何異性体)が存在する。このうち，シス形は（　ア　）である。また，シス形とトランス形では物理的性質が異なり，A と B のうち，比較的沸点が高いのは（　イ　）である。



【A】



【B】

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　A　　　②　B

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　A　　　②　B

(3)　次の①～④のうち，シス-トランス異性体の特徴に該当しないものはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　C=C 結合は回転できない。

②　構造異性体である。

③　トランス形はシス形に比べて極性が小さい。

④　シス形とトランス形は別の構造である。

(4)　次の①～④のうち，シス-トランス異性体（幾何異性体）が存在するのはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　$CCl_2=CHCl$

②　$CH_3CH_2CH=C(COOH)COOH$

③　$CH_3CH=C(CH_3)CH_2OH$

④　$CH_2=CHCH_2OH$

< Note >

# PART6　立体異性体②

目標　・鏡像異性体を，見つけられるようになろう！

## Chapter1　鏡像異性体（光学異性体）

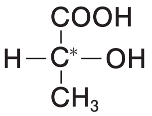
**要点**

鏡像異性体（光学異性体）

不斉炭素原子をもつことが原因で生じる，立体異性体

### ◆ 鏡像異性体（光学異性体）　重要

例に示す化合物で考えてみよう。　例

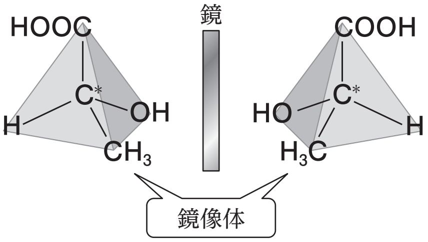



乳酸

まず，この化合物の中心の C 原子は，4 つの異なる原子，または原子団と結合している。このような C 原子を**不斉炭素原子**といい，通常 C *のように表す。

この化合物は，構造式（平面）で表記すると，この 1 種類しか無い。

しかし，立体構造を考えると正四面体（メタンを思い出そう）であり，1 つの不斉炭素原子に結合している原子または原子団を 1 ペア入れ替えると，違うものになる。




この 2 つは鏡に映った像と同じ関係（右手と左手の関係）にあるため**鏡像体**といわれ，このような異性体を**鏡像異性体（光学異性体）**という。

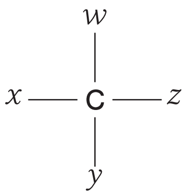
**まとめ**

鏡像異性体(光学異性体)は，（　　　　　　　　　　　　　　　）ことにより生じる立体異性体である。

# Chapter2　鏡像異性体（光学異性体）が生じる条件・性質

**要点**

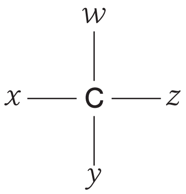
鏡像異性体（光学異性体）



$w, x, y, z$ がそれぞれすべて異なる
⇒不斉炭素原子C*が存在

## ◆ 鏡像異性体（光学異性体）が生じる条件　重要

以下の条件を満たすとき，鏡像異性体（光学異性体）が生じる。



$w, x, y, z$ がそれぞれすべて異なる
⇒不斉炭素原子C*が存在

不斉炭素原子を見つけることができるよう，練習しておこう。

**例**　鏡像異性体（光学異性体）がある？ ない？

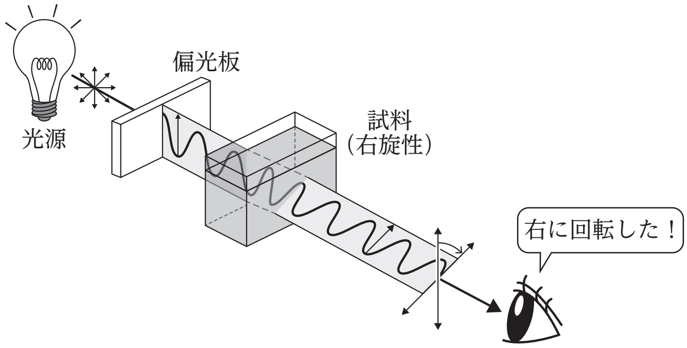
$CH_3CH_2CH_2CH_2OH$　ない

$CH_3CH(OH)CH_2CH_3$　ある

## ◆ 鏡像異性体（光学異性体）の性質　重要

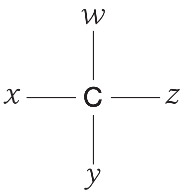
鏡像異性体（光学異性体）の化学的な性質や物理的な性質は，ほとんど同じで，異なるのは，光に対する性質（旋光性）である。

物質が旋光性をもつときを光学活性，もたないときを光学不活性という。



**まとめ**

鏡像異性体（光学異性体）が生じる条件




$w$，$x$，$y$，$z$ がそれぞれすべて異なる
⇒（　　　　　　　　）が存在

## Chapter3　演習問題

問　次の①～⑤のうち，鏡像異性体（光学異性体）が存在するのはどれか。全て選べ。

①　$CH_3CH_2CH_2CH_3$

②　$CH_3CH{=}CHCOOH$

③　$CH_3CH_2CH(NH_2)COOH$

④　$CH_2(OH)CHClCH_2OH$

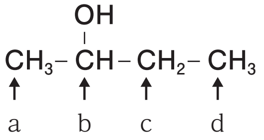
⑤　$CH_3CH(OH)CH_2CHO$

< Note >

# 第15講 PART6 確認問題

問1 次の問いに答えよ。

(1) 次の図は，ある鏡像異性体(光学異性体)が存在する化合物の構造式を表したものである。この構造式のC原子a～dのうち，不斉炭素原子はどれか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。




① a　　② b
③ c　　④ d

(2) 次の①～④のうち，鏡像異性体（光学異性体）が存在するのはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① $CH_2(OH)CH_2CH_3$
② $CH_2(OH)CH(NH_2)CH_2OH$
③ $CH_3CH_2CH{=}C(CH_3)COOH$
④ $CH_3CH(CH_2OH)COOH$

(3) 鏡像異性体（光学異性体）の関係にある化合物は，互いに性質が異なる部分がある。それは何か。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 融点・沸点　　② 有機溶媒への溶解度
③ 光に対する性質

(4) 1つの不斉炭素原子に結合している原子，または原子団のうち，2つを入れ替えたものは，立体構造が同じか，異なるか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 同じ　　② 異なる

< Note >

# 第 16 講　脂肪族炭化水素
# PART1　飽和炭化水素

目標　・アルカンの反応を，しっかりと押さえていこう！

## Chapter1　アルカンの基本事項

**要点**

アルカン

　一般式 $C_nH_{2n+2}$ の鎖式飽和炭化水素

### ◆ アルカン　重要

C 原子と H 原子のみからなる有機化合物を，**炭化水素**という。炭化水素は極性が小さいため，全て水に溶けにくい。

炭化水素の中で C=C 結合や C≡C 結合（などの不飽和結合）をもたないものを，**飽和炭化水素**といい，その中で鎖式のものを，**アルカン**（一般式 $C_nH_{2n+2}$）という。

### ◆ アルカンの化合物名　重要

アルカンの化合物名は，一般名に合わせて語尾が「～ ane」で終わる。炭素数が 1 ～ 6 のアルカンの名前は頭に入れ，スラスラ言えるようになっておこう。

| 炭素数 $n$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 化合物名 | **メタン** | **エタン** | **プロパン** | **ブタン** | **ペンタン** | **ヘキサン** |

一番長い C 骨格を主鎖，主鎖に付いている短い C 骨格を側鎖という。

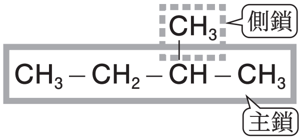
側鎖の名称は，アルカンの語尾「～ ane」を「～ yl 基」に変えてよぶ。

例　側鎖の炭素数 1 → メチル基

　　側鎖の炭素数 2 → エチル基

以上の原則から，側鎖をもつアルカンの名前をつけると次の例のようになる。

例




主鎖：炭素数 4 → ブタン

側鎖：炭素数 1 → メチル基

近い方の末端から数えて2番目のC原子に側鎖が付いているため，このアルカンの名前は「2-メチルブタン」となる。

**まとめ**

アルカンの化合物名

| 炭素数$n$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 化合物名 | (　　　) | (　　　) | (　　　) | (　　　) | (　　　) | (　　　) |

## Chapter2　熱分解（クラッキング）

**要点**

熱分解（クラッキング）

$$\mathrm{C-C-C-C-\cdots\cdots-C} \xrightarrow{\text{熱}} \text{小さい炭化水素}$$

### ◆ 熱分解（クラッキング） 重要

炭素数の大きいアルカンを強熱すると，炭素数の小さい炭化水素（エチレン，アセチレンなど）を生じる反応。

$$\mathrm{C-C-C-C-\cdots\cdots-C} \xrightarrow{\text{熱}} \text{小さい炭化水素}$$

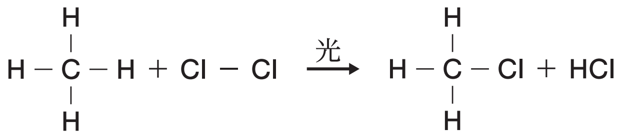
**まとめ**

炭素数の大きいアルカンを強熱すると，炭素数の小さい炭化水素が生じる。
この反応を（　　　　　　　　　　　　）という。

# Chapter3　置換反応（ハロゲン化）

**要点**

置換反応（ハロゲン化）

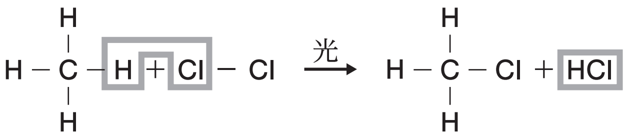


### ◆ 置換反応（ハロゲン化） 重要

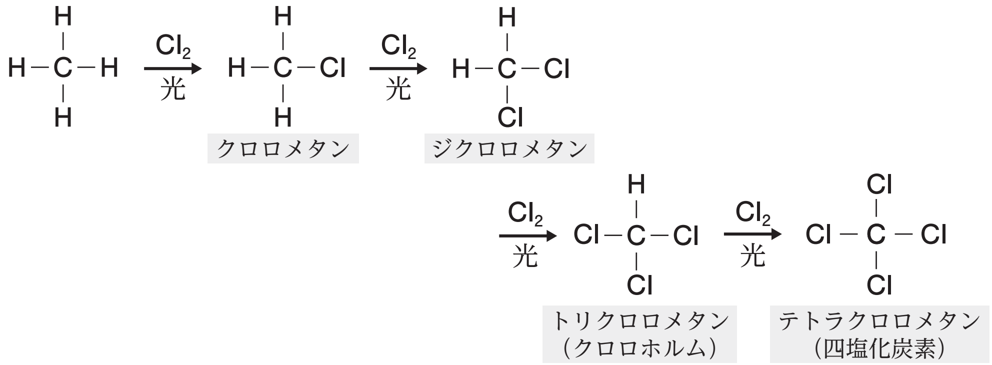
光（紫外線 UV）を照射すると，アルカンはハロゲンの単体と反応する。

アルカンの H 原子がハロゲン原子で置き換わり（置換），ハロゲン化炭化水素に変化する。

例



上記の例において，置換反応が進行すると，最終的に全ての H 原子が Cl 原子で置換される。




**まとめ**

アルカンとハロゲンの単体の混合物に（　　　　　　　　　）を照射すると，（　　　　）反応が進行する。

# Chapter4　シクロアルカンの基本事項

**要点**

シクロアルカン

一般式 $C_nH_{2n}$（$n \geqq 3$）の環式飽和炭化水素。

## ◆ シクロアルカン　重要

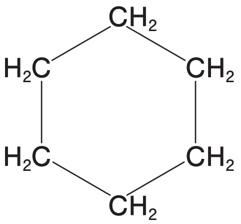
飽和炭化水素の中で環状構造を1つもつ化合物が，シクロアルカンである。一般式は $C_nH_{2n}$（$n \geqq 3$），5員環以上のものが安定である。

基本的に，性質はアルカンと同じである。

## ◆ シクロアルカンの化合物名　重要

シクロアルカンの化合物名は，アルカンの名前の前に「シクロ」をつけたものである。

**例**



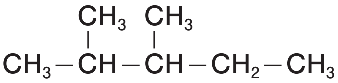
シクロヘキサン

**まとめ**

飽和炭化水素で環状構造を1つもつものを（　　　　　　　　）といい，一般式は（　　　　）（$n \geqq 3$）である。

# Chapter5　演習問題

問　次に示すアルカンの化合物名を答えよ。



# 第16講　PART1　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　炭化水素の性質として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　極性が大きい。

②　全て水に溶けにくい。

③　C＝C 結合をもたないものを，不飽和炭化水素という。

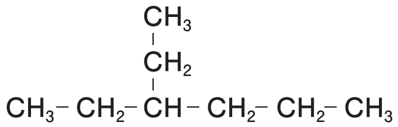
(2)　次に示すアルカンの化合物名として最も適当なものを，あとの①～④のうちから一つ選べ。

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$$

①　プロパン　　②　ブタン

③　ペンタン　　④　ヘキサン

(3)　次に示すアルカンの化合物名として最も適当なものを，あとの①～④のうちから一つ選べ。




①　2-プロピルペンタン

②　3-プロピルペンタン

③　3-エチルヘキサン

④　4-エチルヘキサン

(4) メタンと塩素の混合物に光(紫外線)を照射すると，最終的にどのような化合物に変化するか。その化合物名として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① クロロメタン　② ジクロロメタン
③ クロロホルム　④ 四塩化炭素

(5) シクロアルカンの一般式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $C_nH_{2n-4}$　② $C_nH_{2n-2}$
③ $C_nH_{2n}$　④ $C_nH_{2n+2}$

(6) シクロアルカンの性質に該当しないものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 性質は基本的にアルカンと同じである。
② 環状構造を１つもつ。
③ ３員環のものが最も安定である。

# PART2　アルケン

**目標**　・アルケンの反応を，しっかりと押さえていこう！

## Chapter1　アルケンの基本事項

**要点**

アルケン

一般式 $C_nH_{2n}$（$n \geqq 2$）の鎖式不飽和炭化水素

### ◆ アルケン　重要

C=C 結合や C≡C 結合(などの不飽和結合)をもつ炭化水素を**不飽和炭化水素**といい，その中で，C=C 結合を 1 つもつ一般式 $C_nH_{2n}$（$n \geqq 2$）の鎖式不飽和炭化水素を，**アルケン**という。

$n \geqq 3$ のとき，シクロアルカンと構造異性体の関係にある。

### ◆ アルケンの化合物名　重要

アルケンの化合物名は，アルカンの化合物名の語尾を「～ ene」に変えたものである。

| 炭素数 $n$ | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 化合物名 | **エテン（エチレン）** | **プロペン（プロピレン）** | **ブテン** | **ペンテン** | **ヘキセン** |

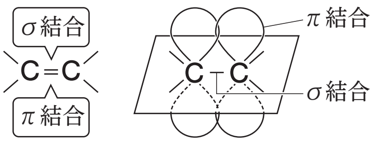
また，C=C 結合の場所を，化合物名の前につける。

**例**　$CH_3-CH_2-CH=CH_2$　1-ブテン

↑（近い方の末端から数えて 1 番目の結合が，C=C 結合）

### ◆ C=C結合の本当の姿

C=C 結合に含まれる 1 本目の結合を「σ結合」，2 本目の結合を「π結合」という。




図のように，π結合はσ結合と同一平面上には存在していない。π結合の電子はσ結合の平面から飛び出した空間に存在するため，狙われやすい状態である。

まとめ

アルケンの化合物名

| 炭素数$n$ | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|---|---|---|---|
| 化合物名 | エテン<br>(　　　　) | (　　　　)<br>(プロピレン) | (　　　　) | (　　　　) | (　　　　) |

## Chapter2　付加反応

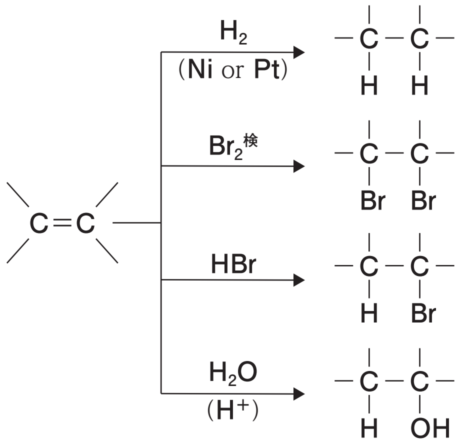
要点

付加反応

不飽和結合に，「$H_2$・ハロゲン・酸・水」が付加する反応。

### ◆ 付加反応　重要

不飽和結合に「$H_2$・ハロゲン・酸・水」が付加する反応を，**付加反応**という。




・**$Br_2$ 付加は C=C 結合や C≡C 結合の検出法**

$Br_2$ 付加の反応は触媒がなくても進行し，また，$Br_2$ の赤褐色が付加後には消えるため，C=C 結合や C≡C 結合の検出に用いられる。

まとめ

アルケンの C=C 結合に（　　　　　　）・（　　　　　　）・（　　　　　　）・（　　　　　　）が付加する反応を，付加反応という。

# Chapter3　付加重合

要点

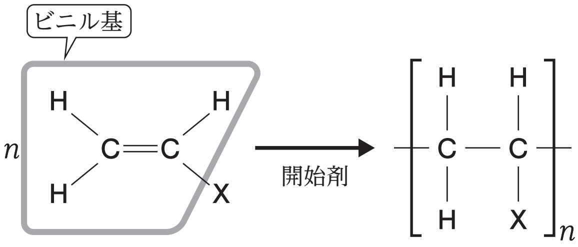
付加重合

ビニル基 ($CH_2$＝CH−) をもつアルケンは，付加反応で重合していく。

## ◆ 付加重合　重要

同じ分子が繰り返しつながっていくことを，**重合**という。その中で，付加反応で重合することを，**付加重合**という。

さまざまな付加重合があるが，そのほとんどは高分子化合物で学ぶ。ここでは，ビニル基($CH_2$＝CH−)をもつアルケンに注目しておく。




まとめ

・(　　　　　) 基をもつアルケンは，付加反応で重合する。

・付加反応で重合することを，(　　　　　　) という。

# Chapter4　演習問題

問　アルケンの検出法に利用される物質の化学式を，次の①～⑤のうちから一つ選べ。

①　$I_2$　　②　$H_2$　　③　HBr　　④　$Br_2$　　⑤　$H_2O$

< Note >

# 第16講　PART2　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　炭素数が3以上のとき，アルケンと構造異性体の関係にあるものとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　アルカン　　②　シクロアルカン

③　シクロアルケン

(2)　次に示すアルケンの名称として最も適当なものを，あとの①～④のうちから一つ選べ。

$$CH_3-CH_2-CH=CH-CH_3$$

①　2-ペンテン　　②　3-ペンテン

③　2-ヘキセン　　④　3-ヘキセン

(3)　酸触媒下でエチレンに水を付加させると，どのような化合物が生成するか。その化合物の構造式として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　$CH_3-CH_3$

②　$CH_3-CH_2-OH$

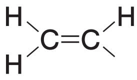
③　$HO-CH_2-CH_2-OH$

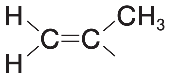
(4)　次の①～④のハロゲンのうち，アルケンの検出法に利用されるものはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

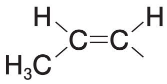
①　$F_2$　　②　$Cl_2$

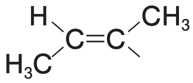
③　$Br_2$　　④　$I_2$

(5) ビニル基を表しているものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 

② 

③ 

④ 

# PART3　アルキン

目標　・アルキンの反応をしっかりと，押さえていこう！

## Chapter1　アルキンの基本事項

要点

アルキン

一般式 $C_nH_{2n-2}$（$n \geqq 2$）の鎖式不飽和炭化水素。

### ◆ アルキン　重要

一般式が $C_nH_{2n-2}$（$n \geqq 2$）の C≡C 結合を 1 つもつ鎖式不飽和炭化水素を，**アルキン**という。

### ◆ アルキンの化合物名　重要

アルキンの化合物名は，アルカンの化合物名の語尾を「〜 yne」に変えたものである。

| 炭素数$n$ | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 化合物名 | エチン<br>(**アセチレン**) | **プロピン** | **ブチン** |

また，C≡C 結合の場所を，化合物名の前につける。

例　$CH_3-CH_2-C \equiv CH$　　1-ブチン

↑

（近い方の末端から数えて 1 番目の結合が，C≡C 結合）

まとめ

アルキンの化合物名

| 炭素数$n$ | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|
| 化合物名 | エチン<br>(　　　　) | (　　　　) | (　　　　) |

# Chapter2　付加反応

**要点**

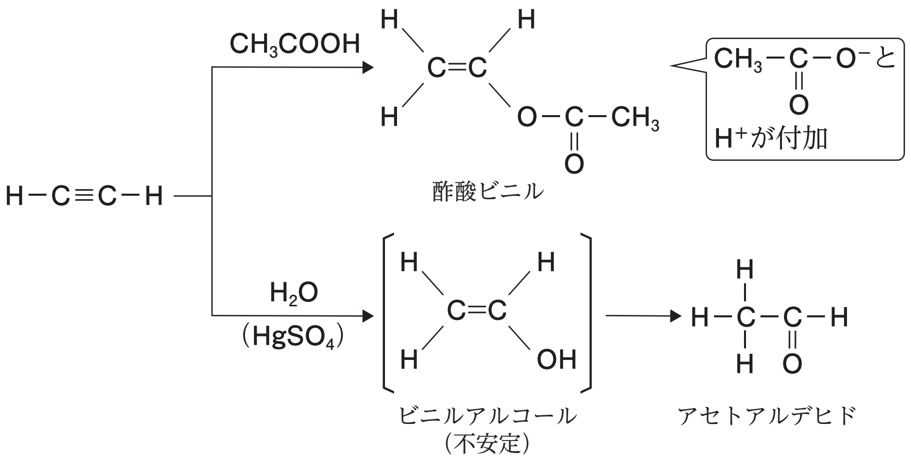
付加反応

不飽和結合に「$H_2$・ハロゲン・酸・水」が付加する反応。

## ◆ 付加反応 　重要

不飽和結合に「$H_2$・ハロゲン・酸・水」が付加する反応を，**付加反応**という。

反応自体はアルケンと同じだが，注意が必要な「酸」と「$H_2O$」の付加反応を確認する。




・**$Br_2$ 付加は C=C 結合や C≡C 結合の検出法**

アルケンと同様である。

**まとめ**

アセチレンに $H_2O$ が付加すると，不安定な（　ビニルアルコール　）が生成し，（　　　　　　　　）に変化する。

# Chapter3　付加重合

要点

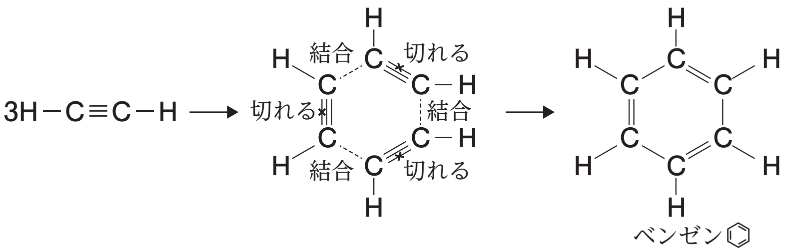
付加重合

アルキンでは，おもに２～３分子の重合が起こる。

### ◆ 付加重合（３分子重合） 重要

アルケン同様，アルキンでも付加重合が起こる。ただし，たくさんの分子の重合は起こりにくい。

特にアセチレン３分子重合は，ベンゼンの製法であるため重要である。




まとめ

アセチレンが３分子重合すると，（　　　　　　　）が生成する。

# Chapter4　アセチレン

要点

アセチレンの製法

$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$

### ◆ アセチレンの性質 重要

アセチレンは酸素とともに完全燃焼させると，「酸素アセチレン炎」とよばれる高温の炎を生じるため，金属の溶接などに用いられている。

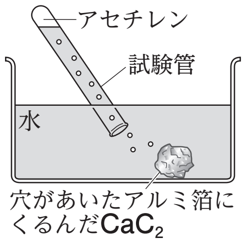
また，アンモニア性硝酸銀水溶液に通じると，銀アセチリド AgC≡CAg の白色沈殿を生じる。

## ◆ アセチレンの製法 重要

炭化カルシウム（カーバイド）$CaC_2$ と $H_2O$ からアセチレン $C_2H_2$ が生成する。

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2 + Ca(OH)_2$$

アセチレンは炭化水素で水に溶解しないため，水上置換法で捕集する。アセチレンは，炭化カルシウムと水との反応で発生し，水の中で捕集することから，図のように同時におこなう。




**まとめ**

アセチレンは，（　　　　　　　　　　　　　　）を水と反応させてつくる。

# Chapter5　演習問題

問　アセチレンに，次の①～④の物質を1分子付加させたときの生成物の化合物名を答えよ。

①　$Br_2$　　②　HCl　　③　$H_2O$　　④　HCN

# 第 16 講　PART3　確認問題

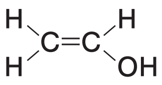
問 1　次の問いに答えよ。

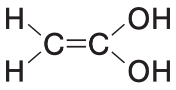
(1)　次に示すアルキンの名称として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

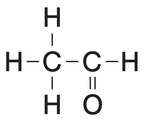
$CH_3-C\equiv C-CH_3$

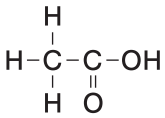
①　1- プロピン　　②　2- プロピン
③　1- ブチン　　④　2- ブチン

(2)　アセチレンに水を付加させると，最終的にどのような化合物が生成するか。その化合物の構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①


②


③


④


(3)　ベンゼンはアセチレンが何分子重合したものか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　3 分子　　②　4 分子
③　5 分子　　④　6 分子

(4)　アセチレンをアンモニア性硝酸銀水溶液に通じると，何色の沈殿が生じるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　黒色　　②　褐色
③　黄色　　④　白色

⑸　アセチレンは水と何を反応させることでつくられるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　エチレン　　②　プロピレン
③　炭化カルシウム　　④　炭酸カルシウム

⑹　アセチレンを生成するときの捕集法として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　水上置換法　　②　上方置換法
③　下方置換法

# 第17講　酸素を含む脂肪族化合物
# PART1　アルコール・エーテル

目標　・アルコールの反応を，しっかりと押さえていこう！

## Chapter1　アルコールとエーテル

要点

アルコール・エーテル

アルコールは活性，エーテルは不活性。

### ◆ アルコールとエーテル　重要

$C_nH_{2n+2}O$ で表されるアルコールとエーテルは，分子量が同じものどうし互いに異性体の関係にある。

互いに異性体の関係にあるアルコールとエーテルを比較すると，分子間に水素結合を形成するアルコールのほうが，沸点が高い。

例　$C_2H_5OH$ …沸点 78℃

$CH_3OCH_3$ …沸点 −25℃

また，アルコールは活性，エーテルは不活性なので，アルコールが起こす反応をエーテルは全て起こさない。

よって，アルコールの反応をしっかりと押さえておけば良い。

まとめ

分子量が同じアルコールとエーテルでは，比べて（　　　　　　）のほうが沸点が高い。その理由は，アルコールは分子間に（　　　　）結合を形成するからである。

# Chapter2　アルコールの基本事項

**要点**

アルコールの基本事項

アルコールは，炭化水素の H 原子をヒドロキシ(ル)基−OH で置き換えた化合物。

## ◆ アルコール　重要

アルコールは，炭化水素の H 原子を**ヒドロキシ(ル)基−OH** で置き換えた化合物である。

## ◆ アルコールの化合物名　重要

アルコールの化合物名は，アルカンの化合物名の語尾を「～ ol」に変えるとつくることができる。

**例**

2番目　1番目

$$CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

近い方の末端から 2 番目に−OH がある

C 数 4 のアルコール

2-ブタノール

**まとめ**

炭化水素の H 原子を（　　　　　　　　　）基で置き換えた化合物が，アルコールである。

# Chapter3　Naとの反応

要点

Na との反応

アルコールは Na と反応し，$H_2$ が発生する。（−OH 基の検出法）

## ◆ Naとの反応 重要

アルコールに Na を加えると $H_2$ が発生し，アルコールはナトリウムアルコキシドに変化する。

$$2R-OH + 2Na \rightarrow 2R-ONa + H_2$$

ナトリウムアルコキシド

この反応は，Na の強い還元力によって起こる反応で，無機化学で学ぶ Na と $H_2O$ の反応と同じである。

$$2H_2O + 2Na \rightarrow 2NaOH + H_2$$

Na との反応は，アルコールに限らず−OH 基をもつ化合物で同様に起こる。よって，−OH 基の検出法として利用されている。アルコールでは，異性体であるエーテルとの区別に利用される。

まとめ

・アルコールは Na と反応し，このとき（　　　　）が発生する。

・この反応は，（　　　　　　　　　）基の検出法として利用されている。

# Chapter4　脱水

要点

脱水

アルコールに濃硫酸を加えて加熱すると，脱水が起こる。

## ◆ 脱水 重要

アルコールに濃硫酸を加えて加熱すると，脱水が起こる。エタノールのみ，低温と高温で生成物が異なる。

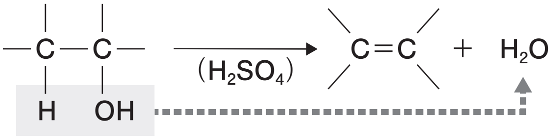
(1)　低温（130 ～ 140℃）→ 分子間脱水

$2C_2H_5OH \rightarrow C_2H_5{-}O{-}C_2H_5 + H_2O$
ジエチルエーテル

(2)　高温（160 ～ 170℃）→ 分子内脱水

$C_2H_5OH \rightarrow CH_2{=}CH_2 + H_2O$

一般的なアルコールでは，基本的に(2)の分子内脱水が起こり，アルケンに変化する。




まとめ

・アルコールに（　　　　　）を加えて加熱すると，脱水が起こる。

・一般的なアルコールでは（　　　　　）脱水が起こり，アルケンに変化する。

# Chapter5　酸化

要点

酸化

第一級アルコール → アルデヒド → カルボン酸

第二級アルコール → ケトン

第三級アルコール → 酸化されにくい

## ◆ アルコールの級数 重要

アルコールは，C骨格のどこに−OH基があるかで第一級，第二級，第三級に分類される。

| −OH基の場所 | | 級数 |
|---|---|---|
| C骨格の末端 | → | 第一級 |
| C骨格の連鎖部 | → | 第二級 |
| C骨格の分枝部 | → | 第三級 |

## ◆ アルコールの酸化 重要

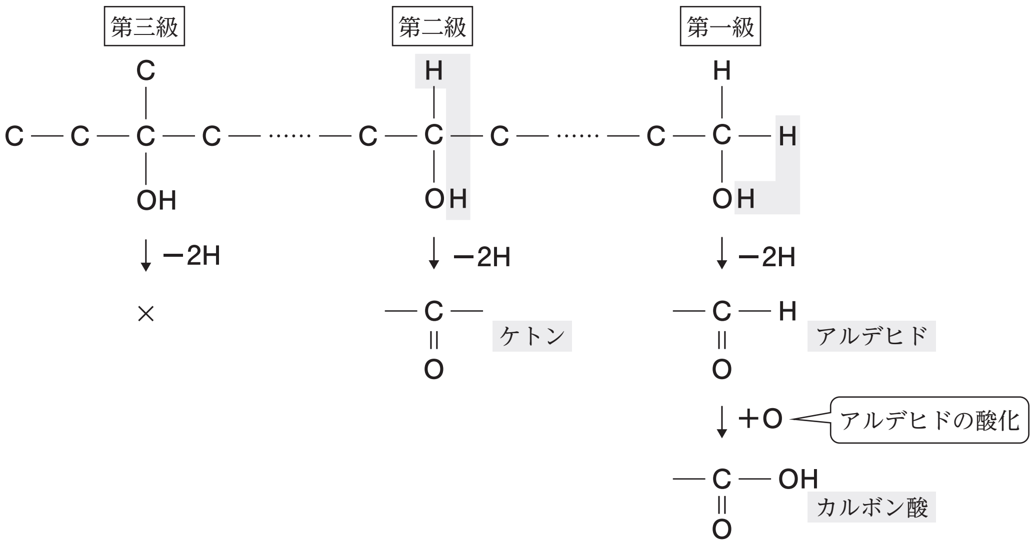
アルコールは，二クロム酸カリウム $K_2Cr_2O_7$ や過マンガン酸カリウム $KMnO_4$ などの酸化剤で酸化される。生成物は，級数により異なる。（第三級アルコールは酸化されにくい）

第一級アルコール → アルデヒド → カルボン酸

第二級アルコール → ケトン

第三級アルコール → 酸化されにくい

まとめると以下のようになる。




**まとめ**

アルコールの酸化

第一級アルコール →（　　　　　　）→（　　　　　　）

第二級アルコール →（　　　　　）

第三級アルコール → 酸化されにくい

# Chapter6　エーテルの基本事項

**要点**

エーテル

酸素原子に２つのアルキル基が結合した化合物。

## ◆ エーテル 重要

エーテルは，酸素原子に２つのアルキル基が結合した化合物である。この酸素原子による結合（−O−）を，**エーテル結合**という。

## ◆ エーテルの化合物名 重要

エーテルの化合物名は，通常，慣用名で「RR′エーテル」となる。

このとき，アルキル基はアルファベット順に表記する。

例　$CH_3-O-C_2H_5$ エチルメチルエーテル　　$C_2H_5-O-C_2H_5$（揮発性・引火性・麻酔性）ジエチルエーテル

**まとめ**

２つのアルキル基が（　　　　　　　）結合で結びついた化合物を，エーテルという。

# Chapter7　演習問題

問　次のアルコールを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で酸化した。生成物の構造式を書け。複数考えられる場合は全て答えよ。また，酸化されない場合には「なし」と答えよ。

①　エタノール　　②　2-ブタノール　　③　2-メチル-2-プロパノール

# 第17講 PART1 確認問題

問 1 次の問いに答えよ。

(1) 同じ分子量である $C_2H_5OH$ と $CH_3OCH_3$ では，どちらがより沸点が高いか。適当なものを，次の①，②のうちから選べ。

① $C_2H_5OH$　　② $CH_3OCH_3$

(2) 次に示すアルコールの名称として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

$$CH_3-CH_2-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$$

① 3- ペンタノール　　② 4- ペンタノール
③ 3- ヘキサノール　　④ 4- ヘキサノール

(3) アルコールに Na を加えると，どのような気体が発生するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 水素　　② 酸素
③ 窒素　　④ 塩化水素

(4) エタノールに濃硫酸を加え，160 ～ 170℃で加熱すると，どのような物質が生成するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $CH_3-O-CH_3$　　② $C_2H_5-O-C_2H_5$
③ $CH_2=CH_2$　　④ $CH\equiv CH$

(5) 2- プロパノールを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で酸化すると，どのような物質が生成するか。その物質の構造式として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。なお，酸化されない場合は④を選ぶこと。

① $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3$　　② $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-OH$

③ $CH_3-CH=CH_2$　　④ 酸化されない

(6) $CH_3-O-C_3H_7$ の化合物名として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① メチルプロピルエーテル

② プロピルメチルエーテル

③ メチルブチルエーテル

④ ブチルメチルエーテル

# PART2　アルデヒド・ケトン①

目標　・アルデヒドの反応を，しっかりと押さえていこう！

## Chapter1　アルデヒドとケトン

要点

アルデヒド・ケトン

アルデヒドには還元性があるが，ケトンにはない。

### ◆ アルデヒドとケトン　重要

アルデヒドとケトンは，ともに一般式が $C_nH_{2n}O$ で表すことができ，炭素数が同じものどうし異性体の関係にある化合物である。$C_nH_{2n}O$ で表される化合物のうち， C=O 結合が C 骨格の末端にあるときがアルデヒド，末端以外にあるときがケトンである。

例

アルデヒド　　　ケトン

アルデヒドとケトンの大きな違いは「還元性の有無」である。アルデヒドには還元性があるが，ケトンにはない。

よって，アルデヒドの還元力を確認する反応を，しっかりと押さえることが重要になる。

まとめ

C 骨格の末端に－CHO がある化合物が（　　　　　　　），
末端以外に＞C=O がある化合物が（　　　　　）である。

# Chapter2　アルデヒドの基本事項

要点

アルデヒドの基本事項

官能基名「ホルミル基」，化合物名は代表的なものを知っておく。

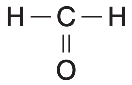
## ◆ アルデヒド　重要

C=O 結合に H 原子が結合した官能基を「ホルミル基−CHO」という。このホルミル基をもつ化合物が，アルデヒドである。

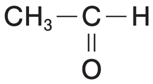
## ◆ アルデヒドの化合物名　重要

アルデヒドの化合物名は基本的に慣用名であるため，代表的なものは知っておく必要がある。

例



ホルムアルデヒド
（水溶液はホルマリン→防腐剤）



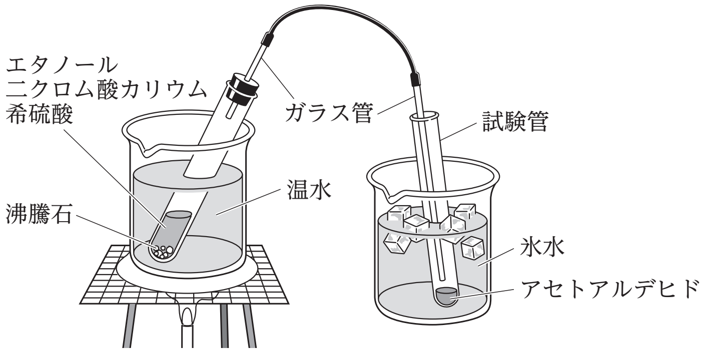
アセトアルデヒド

## ◆ アセトアルデヒドの製法　重要

実験室的製法

エタノールを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で，穏やかに酸化する。

（第一級アルコールの酸化）

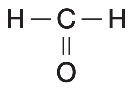


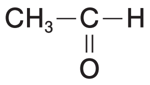
工業的製法　エチレンを，塩化パラジウム(Ⅱ)$PdCl_2$ と塩化銅(Ⅱ)$CuCl_2$ を触媒に用いて空気酸化する。(ヘキストワッカー法)

$$\begin{matrix} CH_2 = CH_2 \\ CH_2 = CH_2 \end{matrix} + O_2 \xrightarrow[(PdCl_2,\ CuCl_2)]{} 2CH_3CHO$$

まとめ

代表的なアルデヒドには，以下のようなものがある。





化合物名　(　　　　　　　　　　)　(　　　　　　　　　　)

## Chapter3　銀鏡反応

要点

銀鏡反応

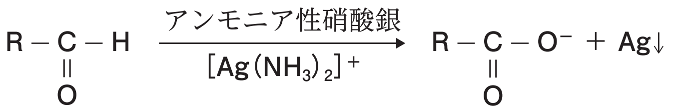
アンモニア性硝酸銀水溶液にアルデヒドを加えて加熱すると，銀が析出する。

(アルデヒドの検出法)

### ◆ 銀鏡反応　重要

アンモニア性硝酸銀水溶液にアルデヒドを加えて加熱すると，銀が析出する。

これを**銀鏡反応**といい，アルデヒドの検出に利用されている。




この反応では，アルデヒドは還元剤としてはたらき，$Ag^+$ を還元して Ag に変化させている。そして，アルデヒド自身は酸化されてカルボン酸に変化するが，アンモニアを加えて塩基性になっているため，中和されて塩に変化する。

まとめ

(　　　　　　　　　　　　　)にアルデヒドを加えて加熱すると，銀が析出する。

この反応を，(　　　　　　)という。

# Chapter4　フェーリング液を還元する反応

**要点**

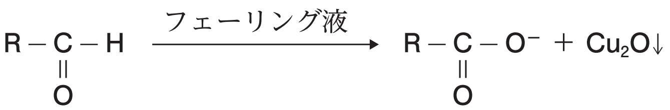
フェーリング液を還元する反応

フェーリング液にアルデヒドを加えて加熱すると，$Cu_2O$ の赤色沈殿が生じる。（アルデヒドの検出法）

## ◆ フェーリング液を還元する反応　重要

フェーリング液※にアルデヒドを加えて加熱すると，酸化銅(Ⅰ)$Cu_2O$ の赤色沈殿が生じる。この反応も，アルデヒドの検出に利用されている。

※硫酸銅(Ⅱ)＋酒石酸ナトリウムカリウム＋水酸化ナトリウムの混合水溶液



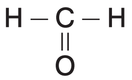

この反応では，アルデヒドは還元剤としてはたらき，$Cu^{2+}$ を還元して $Cu^{+}$($Cu_2O$)に変化させている。そして，アルデヒド自身は酸化されてカルボン酸に変化するが，水酸化ナトリウムにより塩基性になっているため，中和されて塩に変化する。

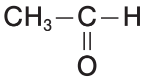
**まとめ**

(　　　　　　　　　　)にアルデヒドを加えて加熱すると,赤色の(　　　　　　　)の沈殿が生じる。

# Chapter5　演習問題

**問**　次の２つの化合物の化合物名を答えよ。また,それらに以下の操作をおこなったとき,析出または沈殿する物質の化学式を答えよ。

①



②


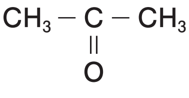
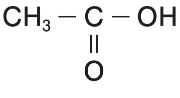

操作(1)　アンモニア性硝酸銀水溶液に加えて加熱

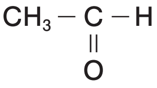
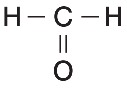
操作(2)　フェーリング液に加えて加熱

# 第17講　PART2　確認問題

問1　(a)アセトアルデヒドは，（　ア　）を硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で穏やかに酸化したり，（　イ　）を塩化パラジウム(Ⅱ)と塩化銅(Ⅱ)を触媒に用いて空気酸化したりしてつくられる。アセトアルデヒドをアンモニア性硝酸銀水溶液に加えて加熱すると（　ウ　）が析出し，フェーリング液に加えて加熱すると（　エ　）が沈殿する。これらはアルデヒドに（　オ　）があることを利用した反応で，アルデヒドの検出に利用されている。

(1)　文中の下線部 (a) について，アセトアルデヒドの構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　　②　

③　　④　

(2)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　メタノール　②　エタノール

③　プロパノール　④　ブタノール

(3)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　エチレン　②　アセチレン

③　プロピレン　④　プロピン

(4) 文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 銀　　② 酸化銀(Ⅰ)

③ 塩化銀(Ⅰ)　　④ 硫化銀(Ⅰ)

(5) 文中の（　エ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 銅　　② 酸化銅(Ⅰ)

③ 酸化銅(Ⅱ)　　④ 硫化銅(Ⅱ)

(6) 文中の（　オ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 酸化力　　② 還元性

③ 吸湿性

# PART3　アルデヒド・ケトン②

**目標**　・ケトンについて，しっかりと押さえよう！

## Chapter1　ケトンの基本事項

**要点**

ケトンの基本事項

カルボニル基に 2 つのアルキル基が結合した化合物。

### ◆ ケトン　RCOR′　重要

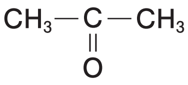
（CO：カルボニル基）

カルボニル基 C=O に 2 つのアルキル基が結合した化合物が，ケトンである。C 骨格の末端以外にカルボニル基がある化合物といえる。

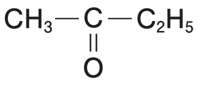
### ◆ ケトンの化合物名　重要

ケトンの化合物名は，慣用名の「RR′ケトン」を使うことが多い。正式な命名法は，アルカンの語尾を「～ one」に変えたものである。

**例**



アセトン
（プロパノン）



エチルメチルケトン
（ブタノン）

**まとめ**

カルボニル基が C 骨格の（　　　　　　）にある化合物がケトンであり，炭素数 3 のケトンを（　　　　　　）という。

# Chapter2　ヨードホルム反応

**要点**

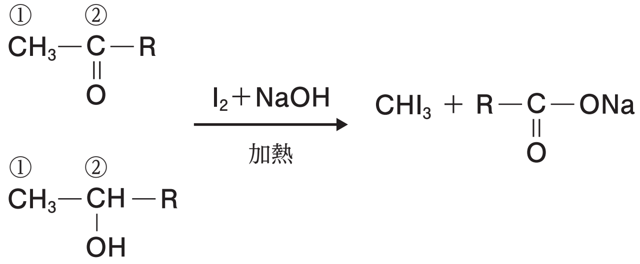
ヨードホルム反応

$I_2$ と NaOHaq を加えて加熱すると，$CHI_3$ の黄色沈殿を生じる反応。

## ◆ ヨードホルム反応　重要

下の図の構造をもつ化合物に，ヨウ素 $I_2$ と NaOHaq を加えて加熱すると，ヨードホルム $CHI_3$ の黄色沈殿を生じる。この反応を，**ヨードホルム反応**という。

ヨードホルム反応の概略




（RはH原子もしくはアルキル基）

ヨードホルム反応を示す化合物をパッと見て判断できることが重要である。

このとき，判断のポイントになるのは「官能基の位置が末端から２番目」である。

**まとめ**

・ある特定の化合物に，ヨウ素と水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱すると，

（　　　　　　　　　　）の（　　　）色沈殿が生成する。

・これを，（　　　　　　　　　　）という。

# Chapter3　演習問題

問　次の①～⑤の中で，ヨードホルム反応を示す化合物を，全て選べ。

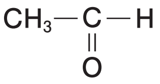
①　$CH_3COOH$　②　$CH_3CH_2CH_2OH$　③　$CH_3CH_2CH(OH)CH_3$

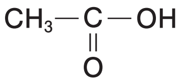
④　$CH_3COCH_2CH_3$　⑤　$CH_3CH(OH)C_6H_5$

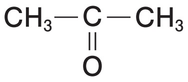
# 第17講　PART3　確認問題

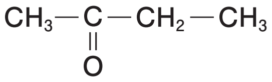
問1　次の問いに答えよ。

(1)　アセトンの構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　

②　

③　

④　

(2)　ヨードホルム反応は，ある特定の構造をもつ化合物に水酸化ナトリウム水溶液と何を加えて加熱することで起こる反応か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$F_2$　　②　$Cl_2$

③　$Br_2$　　④　$I_2$

(3)　ヨードホルム反応を示す化合物はどれか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　HCHO　　②　$CH_3CH_2CHO$

③　$CH_3CH_2CH(OH)CH_2CH_3$　　④　$CH_3CH_2COCH_3$

(4)　ヨードホルム反応で生成する沈殿の色として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　白色　　②　黄色

③　赤色　　④　青色

(5)　ヨードホルムの化学式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$CHI_3$　　②　$CCl_4$

③　$SnCl_4$　　④　$TiO_2$

< Note >

# PART4　カルボン酸・エステル①

目標　・カルボン酸の反応を，しっかりと押さえていこう！

## Chapter1　カルボン酸とエステル

要点

カルボン酸・エステル

カルボン酸は活性，エステルは不活性。

### ◆ カルボン酸とエステル　重要

同じ分子量で，C，H，O の原子からなるカルボン酸とエステルは，互いに異性体の関係にある。

互いに異性体の関係にあるカルボン酸とエステルを比較すると，分子間に水素結合を形成するカルボン酸のほうが沸点が高い。

また，カルボン酸は活性，エステルは不活性なので，カルボン酸が起こす反応を，エステルは全て起こさない。

よって，カルボン酸の反応をしっかりと押さえておけば良い。

まとめ

互いに異性体の関係にあるカルボン酸とエステルでは, 比べて（　　　　　　　）のほうが沸点が高い。その理由は，カルボン酸は分子間に（　　　　）結合を形成するからである。

# Chapter2　カルボン酸の基本事項

**要点**

カルボン酸の基本事項

カルボン酸は，カルボキシ(ル)基－COOH をもつ化合物。

## ◆ カルボン酸　RCOOH　重要

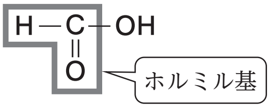
（COOH：カルボキシ(ル)基）

**カルボキシ(ル)基－COOH をもつ化合物**が，カルボン酸である。

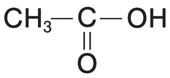
## ◆ カルボン酸の化合物名　重要

カルボン酸の化合物名は，基本的に慣用名である。代表的なものは，出てきた順に頭に入れておこう。

例




ギ酸
（還元性あり）



酢酸

**まとめ**

・（　　　　　　　　　）基をもつ化合物をカルボン酸といい，化合物名は基本的に慣用名である。

・（　　　　）は，ホルミル基をもつため還元性を示す。

# Chapter3　$NaHCO_3$との反応

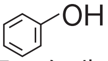
**要点**

$NaHCO_3$との反応

カルボン酸は，$NaHCO_3$ と反応し，$CO_2$ が発生する。（カルボン酸の検出法）

## ◆ カルボン酸の酸としての強さ　重要

カルボン酸は弱酸である。有機化学で登場する代表的な酸を，炭酸($H_2O + CO_2$)を含めて強い順に並べると以下のようになる。

$-SO_3H$ ＞ $-COOH$ ＞ $H_2O + CO_2$ ＞ 


スルホン酸　カルボン酸　炭酸　フェノール

ここでは「$-COOH > H_2O + CO_2$」の部分，すなわち「カルボン酸は，炭酸より強い酸」ということを徹底しておこう。

## ◆ $NaHCO_3$との反応　重要

カルボン酸は炭酸よりも強い酸であるため，炭酸水素ナトリウム $NaHCO_3$aq と反応し，$CO_2$が発生する(炭酸が遊離する)。これは，広義の弱酸遊離反応である。

$$\underset{\text{比べて強い酸}}{\underline{RCOOH}} + NaHCO_3 \rightarrow \underset{\text{比べて弱い酸}}{\underline{H_2O + CO_2}} + RCOONa$$

この反応は，カルボン酸の検出法として利用されている。

**まとめ**

カルボン酸は $NaHCO_3$ と反応し，(　　　　　　)が発生する。この反応は，カルボン酸が（　　　　）より強い酸であることが原因で起こる。

# Chapter4　酸無水物の生成

要点

酸無水物の生成

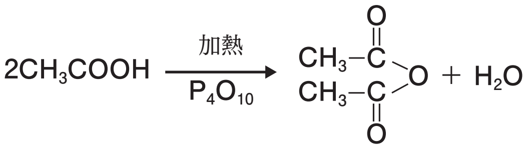
２つのカルボキシ基が近くにあるとき，加熱によりカルボキシ基間で脱水が起こる。

マレイン酸　→　無水マレイン酸

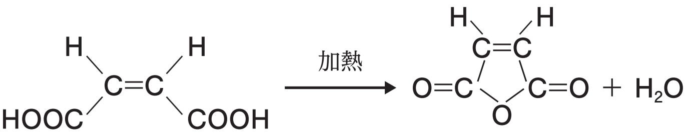
フタル酸　→　無水フタル酸

## ◆ 酸無水物の生成　重要

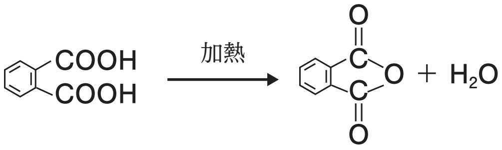
２つのカルボキシ基が近くにあるとき，加熱によりカルボキシ基間で脱水が起こり，酸無水物が生成する。以下の代表例を押さえておこう。




無水酢酸




マレイン酸　無水マレイン酸




フタル酸　無水フタル酸

まとめ

２つのカルボキシ基が近くにあるとき，（　　　　　）により脱水が起こり，酸無水物が生成する。

# Chapter5　エステル化・アミド化

要点

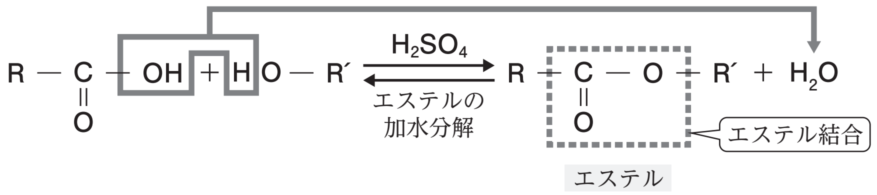
酸化

エステル化：カルボン酸とアルコールが縮合して，エステルを生成する反応。

アミド化　：カルボン酸とアミンが縮合して，アミドを生成する反応。

## ◆ エステル化　重要

カルボン酸とアルコールの混合物に濃硫酸を加えて加熱すると，エステルが生成する。

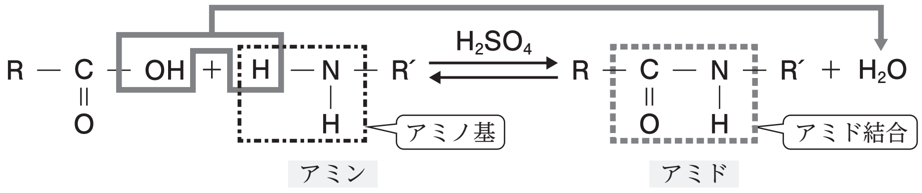



カルボン酸の代わりに酸無水物を使用すると，エステル化が促進される。

また, エステル化の逆反応が，エステルが唯一起こす反応「エステルの加水分解」である。

## ◆ アミド化　重要

カルボン酸とアミンの混合物に濃硫酸を加えて加熱すると，アミドが生成する。




エステル化同様，カルボン酸の代わりに酸無水物を使用すると，アミド化が促進される。

まとめ

カルボン酸とアルコールの混合物に濃硫酸を加えて加熱すると，

(　　　　　　　) が生成する。

# Chapter6　脱炭酸反応

要点

脱炭酸反応

$RCOONa + NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + R-H$

$(RCOO)_2Ca \rightarrow CaCO_3 + RCOR$

### ◆ 脱炭酸反応

カルボン酸の塩の反応である。以下の 2 つを押さえておこう。

・酢酸ナトリウムと NaOH を混合して加熱すると，メタンが生成する。( メタンの製法 )

$$CH_3COONa + NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + CH_4$$

・酢酸カルシウムを空気を絶って加熱(**乾留**)すると，アセトンが生成する。

$$(CH_3COO)_2Ca \rightarrow CaCO_3 + CH_3COCH_3$$

まとめ

酢酸カルシウムを乾留すると，(　　　　　　　)が生成する。

# Chapter7　演習問題

問　次の①～③の式で表される反応のうち，進行しないものを全て選べ。

① $CH_3COONa + H_2O + CO_2 \rightarrow CH_3COOH + NaHCO_3$

② $CH_3COONa + HCl \rightarrow CH_3COOH + NaCl$

③ $CH_3COOH + NaHCO_3 \rightarrow CH_3COONa + H_2O + CO_2$

# 第17講　PART4　確認問題

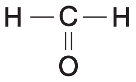
問 1　カルボキシ基をもつ化合物をカルボン酸といい，代表的なものとしては (a)ギ酸や (b)酢酸がある。カルボン酸が炭酸水素ナトリウムと反応すると（　ア　）が発生し，この反応はカルボン酸の検出法として利用されている。また，(c)2 つのカルボキシ基が近くにある場合には加熱により脱水が起こり，酸無水物が生成する。

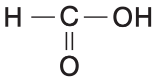
(1)　文中の下線部 (a) について，次の①，②のうちギ酸の有する性質として適当なほうを選べ。

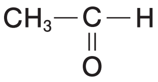
①　酸化力が高い。

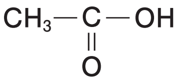
②　還元性を示す。

(2)　文中の下線部 (b) について，酢酸の構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　

②　

③　

④　

(3)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　水素　　②　酸素

③　二酸化炭素　　④　窒素

⑷　文中の下線部 (c) について，酸無水物には分子内脱水で生成するものと，分子間脱水で生成するものの 2 種類があるが，次の①～③のうち，酸無水物を分子間脱水で生成するカルボン酸はどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　酢酸　　②　マレイン酸
③　フタル酸

⑸　カルボン酸とアルコールの混合物に濃硫酸を加えて加熱すると，どのような化合物が生成するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　エーテル　　②　エステル
③　アミド　　④　ケトン

⑹　酢酸ナトリウムと水酸化ナトリウムを混合して加熱すると，どのような化合物が生成するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　メタン　　②　エタン
③　アセトン　　④　アセトアルデヒド

⑺　互いに異性体の関係にあるカルボン酸とエステルでは，どちらのほうが沸点がより高いか。次の①，②のうちから選べ。

①　カルボン酸　　②　エステル

# PART5　カルボン酸・エステル②

目標　・エステルの加水分解を，しっかりと押さえよう！

## Chapter1　エステルの基本事項

**要点**

エステルの基本事項

エステル結合をもつ化合物

### ◆ エステル　RCOOR′　重要

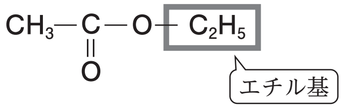
（COO：エステル結合）

エステル結合をもつ化合物が，**エステル**である。カルボン酸とアルコールが縮合して生じる物質である。

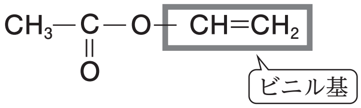
### ◆ エステルの化合物名　重要

エステルの化合物名は「～酸 R′」である。カルボン酸の名前が頭に入っていれば，その場でつくることができる。

**例**




酢酸エチル




酢酸ビニル

**まとめ**

・カルボン酸とアルコールが縮合して生じる（　　　　　　　　　）をもつ化合物が，エステルである。

・示性式 $CH_3COOC_2H_5$ のエステルの化合物名は，（　　　　　　　　）である。

# Chapter2　エステルの加水分解

**要点**

エステルの加水分解

エステルに水と少量の酸を加えて加熱すると，カルボン酸とアルコールになる。

### ◆ エステルの加水分解　重要

エステルに水と少量の酸を加えて加熱すると，カルボン酸とアルコールを生じる(エステル化の逆反応)。これを，**エステルの加水分解**という。

**例**

$$\mathrm{RCOOR' + H_2O \underset{\text{エステル化}}{\overset{\text{加水分解}}{\rightleftarrows}} RCOOH + R'OH}$$

### ◆ けん化　重要

NaOH などの塩基を加えて加熱すると，カルボン酸の塩とアルコールを生じる。加水分解生成物のカルボン酸が中和により取り除かれるため，加水分解が促進される。このような塩基を用いた加水分解を，**けん化**という。

**例**

$$\mathrm{RCOOR' + H_2O \rightleftarrows RCOOH + R'OH}$$
$$\mathrm{+)\ RCOOH + NaOH \longrightarrow RCOONa + H_2O}$$
$$\mathrm{RCOOR' + NaOH \xrightarrow[\text{けん化}]{} RCOONa + R'OH}$$

**まとめ**

塩基を用いたエステルの加水分解を，(　　　　　)という。

# Chapter3　演習問題

問　示性式 $CH_3COOCH(CH_3)_2$ で表される物質を NaOH でけん化したときの化学反応式を書きなさい。

# 第17講　PART5　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　酢酸エチルの構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　$H-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-O-C_2H_5$　　②　$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$

③　$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-O-C_2H_5$　　④　$C_2H_5-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-O-CH_3$

(2)　エステルに水と少量の酸を加えて加熱すると，カルボン酸と何が生成するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　アルコール　　②　エーテル

③　アルデヒド　　④　ケトン

(3)　けん化は，酸と塩基のどちらを用いた加水分解か。次の①，②のうちから選べ。

①　酸　　②　塩基

(4)　示性式 $CH_3COOCH_3$ で表される物質を NaOH でけん化したときに生成する化合物の一つとして最も適当なものを，次の①～④のうちから選べ。

①　HCOONa　　②　$CH_3COONa$

③　$CH_3ONa$　　④　$C_2H_5ONa$

## < Note >

# PART6　油脂

目標　・油脂の性質と計算を，しっかりと押さえよう！

## Chapter1　油脂の基本事項

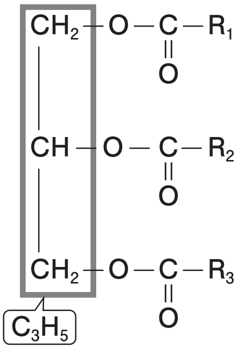
要点

油脂の基本事項

動植物がもつ疎水性物質

### ◆ 油脂の構造　重要

動植物がもつ疎水性物質が油脂であり，以下のような構造である。

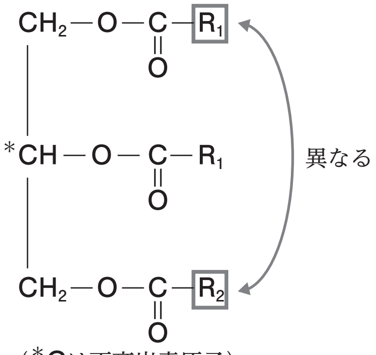



示性式
$C_3H_5(OCOR_1)(OCOR_2)(OCOR_3)$
（Rは炭化水素基）

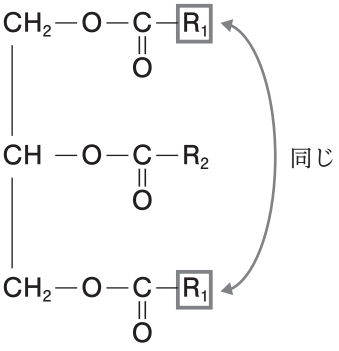
※不斉炭素原子の有無

上記の構造において，「$R_1 \neq R_3$」のとき油脂は不斉炭素原子をもつ。

例　油脂 $C_3H_5(OCOR_1)_2(OCOR_2)$

(i)


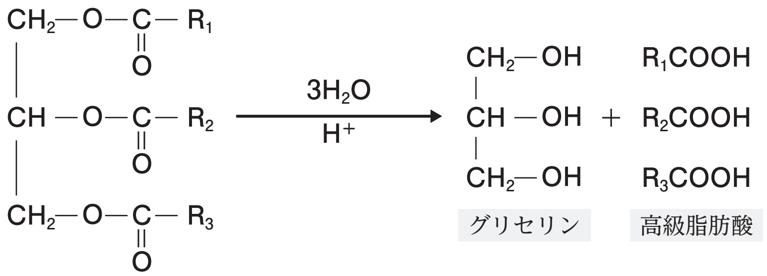

（*Cは不斉炭素原子）

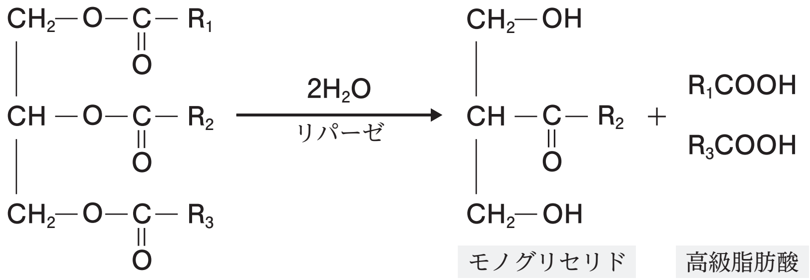
(ii)


## ◆ 油脂の反応　重要

### ・加水分解

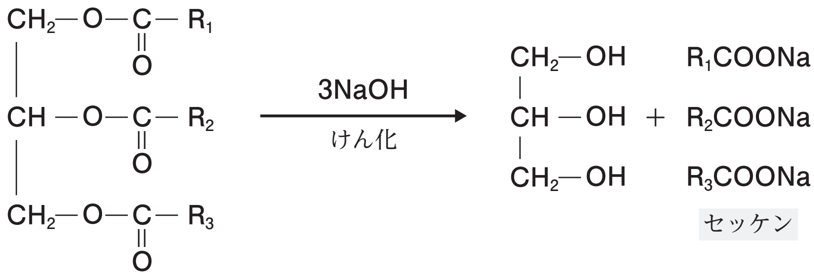
　油脂は３価のエステルであるため，加水分解により，グリセリンと高級脂肪酸が生成する。通常のエステルの加水分解と同様に「希酸を加えて加熱」するだけでなく，分解酵素リパーゼを加える方法もある。ただし，リパーゼを加えた場合，完全には加水分解されないことに注意が必要。




### ・けん化

　油脂に NaOH や KOH などの塩基を加えて加熱するとけん化が起こり，グリセリンとセッケン（高級脂肪酸の Na 塩や K 塩）が生成する。




**まとめ**

油脂をけん化すると，（　　　　　　　　）と（　　　　　　　　）が生成する。

# Chapter2　高級脂肪酸

要点

高級脂肪酸

自然界に存在する油脂を構成している高級脂肪酸は，C 数 18(または 16)のものが多い。

## ◆ 代表的な高級脂肪酸　重要

自然界の油脂を構成する高級脂肪酸の多くは，C 数が 18(または 16)のものである。

代表的な高級脂肪酸の名称と，もっている C=C 結合の数は知っておこう。

| C　数 | 名　称 | C=C数 |
|---|---|---|
| 16 | パルミチン酸 | 0 |
| 18 | ステアリン酸 | 0 |
|  | オレイン酸 | 1 |
|  | リノール酸 | 2 |
|  | リノレン酸 | 3 |

## ◆ 知っておくべき分子量　重要

ステアリン酸 $C_{17}H_{35}COOH$ の分子量：284

ステアリン酸のみからなる油脂 $C_3H_5(OCOC_{17}H_{35})_3$ の分子量：890

上記の「代表的な高級脂肪酸の名称と C=C 結合の数」「知っておくべき分子量」が頭に入っていると，次のように利用することができる。

例題

オレイン酸のみからなる油脂の分子量はいくらか。

---

考え方

オレイン酸は C=C 結合を 1 個もつ高級脂肪酸なので，オレイン酸のみからなる油脂がもつ C=C 結合は 3 個である。

この油脂の分子量は，C=C 結合をもたない油脂の分子量である 890 より，「C=C 結合の数× 2」だけ小さくなる。

よって，$890 - 3 \times 2 = \underline{884}$　となる。

まとめ

代表的な高級脂肪酸

| C　数 | 名　称 | C=C数 |
|---|---|---|
| 16 | (　　　　　　　　) | 0 |
| 18 | (　　　　　　　　) | 0 |
| | (　　　　　　　　) | 1 |
| | (　　　　　　　　) | 2 |
| | (　　　　　　　　) | 3 |

# Chapter3　油脂の計算

要点

油脂の計算

・けん化　→　油脂 mol：NaOH mol = 1：3

・付加　→　(C=C 結合を $x$ 個もつ)油脂 mol：$H_2$ mol = 1：$x$

## ◆ 油脂の計算　重要

代表的な油脂の計算には，以下の 2 つがある。

**けん化の計算**

NaOH や KOH を使った油脂のけん化に関する計算である。

油脂は全て 3 価のエステルなので，油脂をけん化するために必要な NaOH や KOH の物質量は，油脂の物質量の 3 倍となる。

**油脂 mol ： NaOH mol ＝ 1 ： 3**
(KOH mol)

**付加の計算**

油脂の C=C 結合に $H_2$ や $I_2$ を付加するときの計算である。

C=C 結合 1 つにつき $H_2$ や $I_2$ が 1 分子付加するため，C=C 結合を $x$ 個もつ油脂には $x$ 分子の $H_2$ や $I_2$ が付加する。すなわち，油脂(C=C 結合× $x$)に対して付加する $H_2$ や $I_2$ の物質量は油脂の物質量の $x$ 倍である。

**(C=C 結合を $x$ 個もつ)油脂 mol ： $H_2$ mol ＝ 1 ：$x$**
($I_2$ mol)

**例題**

ある油脂1.0gをけん化するために必要なKOH(式量56)が192.6mgであったとき，この油脂の分子量はいくらか。

---

**考え方**

油脂の分子量を$M$とすると，油脂mol：NaOH mol ＝ 1 ：3より，

$$\frac{1.0}{M} : \frac{192.6\times10^{-3}}{56} = 1 : 3 \qquad M = 872.2\cdots \quad \underline{872}$$

**まとめ**

・けん化の計算　→　油脂mol：NaOH mol ＝ 1 ：(　　　)

・ 付加の計算　→　C=C結合を$x$個もつ油脂mol：$H_2$ mol ＝ 1 ：(　　　)

## Chapter4　油脂の分類

**要点**

油脂の分類

脂肪　：常温で固体の油脂。主な構成脂肪酸は飽和脂肪酸。

脂肪油：常温で液体の油脂。主な構成脂肪酸は不飽和脂肪酸。

### ◆ 油脂の分類　重要

油脂は，以下の2つに大別できる。

**脂肪**　：常温で固体の油脂。通常，動物性の油脂で，主な構成脂肪酸は飽和脂肪酸。

**脂肪油**：常温で液体の油脂。通常，植物性の油脂で，主な構成脂肪酸は不飽和脂肪酸。

・液体の油脂に$H_2$を付加して固体に変えたものを，**硬化油**という。

　例　マーガリン

・C＝C結合が多い油脂は，空気中に放置すると固化する。

　このような油脂を，**乾性油**という。

　例　ペンキ

まとめ

・常温で固体の油脂を（　　　　　），液体の油脂を（　　　　　　）という。
・液体の油脂に $H_2$ を付加して固体に変えたものを，(　　　　　　）という。

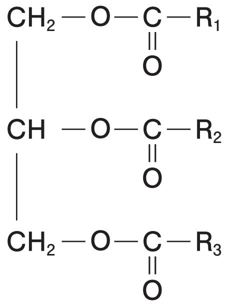
## Chapter5　演習問題

**問**　リノール酸のみで構成されている油脂がある。この油脂 100g に付加するヨウ素(分子量 254)は何 g か。整数で答えよ。

# 第 17 講　PART6　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　油脂は以下のような構造をしている（$R_1$～$R_3$ は炭化水素基）。この構造において，油脂が不斉炭素原子をもたないのは，$R_1$，$R_2$，$R_3$ の関係がどのようなときか。最も適当なものを，後の①～③のうちから一つ選べ。



①　$R_1=R_2\neq R_3$　　②　$R_1=R_3\neq R_2$
③　$R_1\neq R_3=R_2$

(2)　C 数 18，C=C 結合 3 つの高級脂肪酸の名称として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。
①　オレイン酸　　②　パルミチン酸
③　リノレン酸　　④　リノール酸

(3)　油脂を NaOH や KOH でけん化すると生成する高級脂肪酸のナトリウム塩やカリウム塩を何というか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。
①　グリセリン　　②　ステアリン酸
③　セッケン

⑷ ある油脂3.7gをけん化するために必要なNaOH(式量40)が500mgであった。この油脂の分子量はいくらになるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 592　② 740

③ 814　④ 888

⑸ 液体の油脂に$H_2$を付加して固体に変えたものを何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 脂肪　② 脂肪油

③ 硬化油　④ 乾性油

# PART7　セッケンと合成洗剤

目標　・セッケンや合成洗剤の性質を，理解しよう！

## Chapter1　セッケンの基本事項

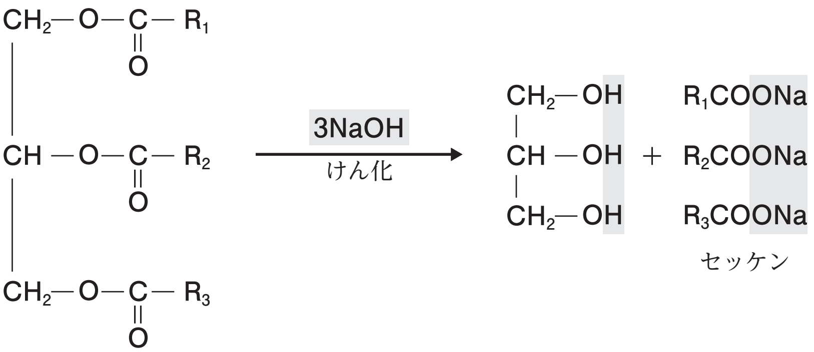
要点

セッケンの基本事項

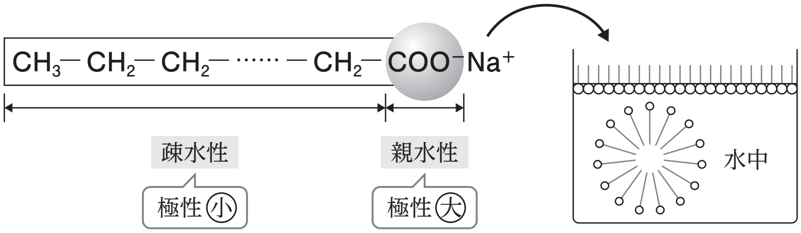
油脂をけん化して得られる，高級脂肪酸のナトリウム塩やカリウム塩。

### ◆ セッケン　重要

油脂をけん化して得られる，高級脂肪酸のナトリウム塩やカリウム塩が，**セッケン**である。




セッケン分子は「疎水性のアルキル基」と「親水性のカルボキシ基のイオン」からできている。




セッケンを水に入れると，セッケン分子は液面と水中で次のように存在する。

液面

**疎水基 → 空気中に向く　親水基 → 水中に向く**

これにより水の表面張力が低下し，繊維の隙間に染み込みやすくなる。このように，水の表面張力※を小さくする物質を，**界面活性剤**という。

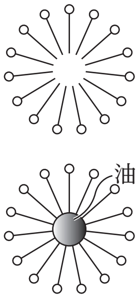
※他の物質との境目 ( 界面 ) の面積を最小にしようとする力。

水中

**疎水基 → 内側を向く　親水基 → 外側を向く**

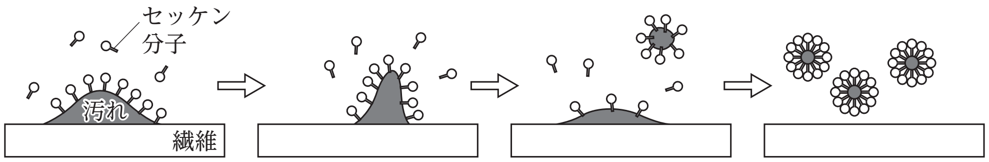
セッケン分子が多数集まり，コロイド粒子(**ミセル**)をつくる。

これにより，セッケン水中では油分が分散できる。これをセッケンの**乳化作用**といい，得られる溶液を**乳濁液**という。




## ◆ セッケンの洗浄作用 重要

油汚れのついた繊維をセッケン水に浸し，機械的な力を加えると油汚れがミセルとなって，繊維から離脱していく。これがセッケンの洗浄作用である。




**まとめ**

・セッケン分子は，(　　　　)性のアルキル基と(　　　　)性のカルボキシ基のイオンからできている。

・セッケン分子は，水中では(　　　　)とよばれるコロイド粒子を形成する。

# Chapter2　セッケンの性質

**要点**

セッケンの性質

・生分解されやすい。　・水溶液は塩基性を示す。　・硬水中で沈殿をつくる。

### ◆ セッケンの性質 重要

① 生分解されやすい

自然界の微生物によって生分解されやすいため，地球にやさしい洗剤である。

② 水溶液は塩基性

セッケンは高級脂肪酸(弱酸)とNaOHやKOH(強塩基)からなる塩であるため，加水分解により塩基性を示す。

これにより，動物性繊維(絹や羊毛)に使用できない。タンパク質の変性(高分子化合物で学習する)が起こり，繊維が縮んだり硬くなったりするためである。

③ 硬水中で沈殿をつくる

セッケンは硬水※中で沈殿をつくるため，洗浄力が低下する。

※ $Ca^{2+}$ や $Mg^{2+}$ を多く含む水

まとめ

・セッケンの水溶液は（　　　　）性なので，動物性繊維に使用することができない。
・セッケンは（　　　　）中で沈殿をつくるため，洗浄力が低下する。

## Chapter3　合成洗剤

要点

合成洗剤

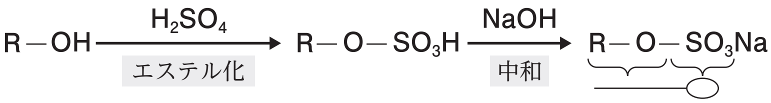
化学合成された中性洗剤

### ◆ 合成洗剤 重要

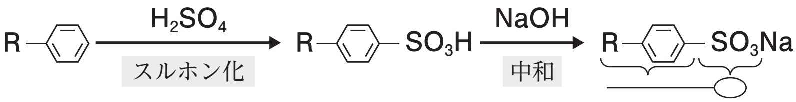
・化学合成された洗剤が，**合成洗剤**である。
・合成洗剤は強酸と強塩基からなる塩で，水溶液が中性を示す。そのため，動物性繊維にも使用できる。
・合成洗剤は沈殿をつくりにくいため，硬水中でも使用可能である。

## ◆ 代表的な合成洗剤　重要

高級アルコール系




ABS(アルキルベンゼンスルホン酸)系




**まとめ**

・合成洗剤は（　　　）性の洗剤のため，絹や羊毛などの（　　　　　　　）に使用することができる。

・合成洗剤は沈殿をつくりにくいため，（　　　　）中でも使用可能である。

# Chapter4　演習問題

問　次の①～⑤の文章の中で誤っているものを，一つ選べ。

①　セッケンは強塩基と弱酸からなる塩で，水溶液は塩基性を示す。

②　セッケン分子は水の表面で，親水基を水中に，疎水基を空気中に向けて並ぶ。

③　セッケン分子は，水中でミセルをつくる。

④　セッケンは加水分解を起こすため，植物性繊維に使用することができない。

⑤　合成洗剤の水溶液は，中性である。

# 第17講　PART7　確認問題

問1　油脂をけん化して得られる高級脂肪酸のナトリウム塩やカリウム塩を，セッケンという。セッケン分子は疎水基と親水基を有しており，(a)液面では水の表面張力を小さくするように，水中ではコロイド粒子（ミセル）を形成して油分が分散できるように並んでいる。また，セッケンは生分解されやすいほか，水溶液は（　ア　）を示し，（　イ　）中で沈殿をつくるなどの性質をもつ。

一方，化学合成された洗剤を (b)合成洗剤といい，合成洗剤の水溶液は（　ウ　）を示し，（　イ　）中で沈殿をつくりにくいなどの特徴がある。

(1)　文中の下線部 (a) について，液面と水中で，親水基はそれぞれどちら側を向くか。その組み合わせとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　液面：空気中　　水中：内側
②　液面：空気中　　水中：外側
③　液面：水中　　水中：内側
④　液面：水中　　水中：外側

(2)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　酸性　　②　中性
③　塩基性

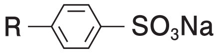
(3)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として適当なものを，次の①，②のうちから選べ。

①　硬水　　②　軟水

(4) 文中の下線部 (b) について，次の①～④のうち，高級アルコール系の合成洗剤はどれか。最も適当なものを，一つ選べ。なお，R はアルキル基を示している。

① R－COONa

② R－COOK

③ 

④ R－O－$SO_3Na$

(5) 文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 酸性　　② 中性

③ 塩基性

(6) 動物性繊維の洗浄に適しているのは，セッケンと合成洗剤のどちらか。次の①，②のうちから選べ。

① セッケン　　② 合成洗剤

# 第18講　芳香族炭化水素
# PART1　ベンゼン・アルキルベンゼン

**目標**　・ベンゼンの本当のすがたを知り，ベンゼンとアルキルベンゼンの反応を押さえていこう！

## Chapter1　ベンゼンの基本事項

**要点**

ベンゼンの基本事項

・炭素原子間の結合は 1.5 結合× 6（正六角形）

・付加反応より置換反応が起こりやすい。

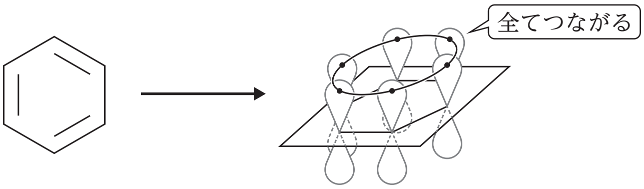
・二置換体は３種類(オルト・メタ・パラ)。

### ◆ ベンゼン（ ）　**重要**

ケクレの略記

ベンゼンは，C=C 結合と C−C 結合の繰り返しのような略記で表す。

しかし，本当は $\pi$ 結合の空間が全てつながり，$\pi$ 結合の電子を全ての C 原子で共有している。

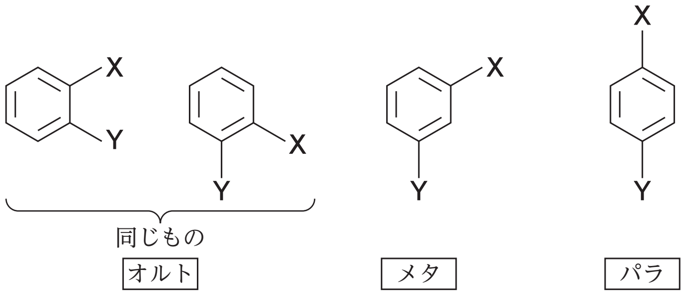



よって，ベンゼンの炭素原子間の結合は「1.5 結合× 6」と表現される。このことは，次の事実から確認できる。

1. ベンゼン環は正六角形である。（一辺の長さは C−C と C=C の間の長さ）
   → C=C 結合と C−C 結合の繰り返しなら，正六角形にはならない。
2. 付加反応より置換反応が起こりやすい。
   → $\pi$ 結合の電子が自由に動き回るので，電子がつかまりにくい。

3. 二置換体が 3 種類しかない。

→ C=C 結合と C−C 結合の繰り返しなら，二置換体は 5 種類存在するはずである。




まとめ

ベンゼンは，

・一辺の長さが C−C 結合と C=C 結合の間の長さの（　　　　　）である。

・（　　　　）反応より（　　　　）反応が起こりやすい。

・二置換体は，（　　　）種類である。

# Chapter2　置換反応

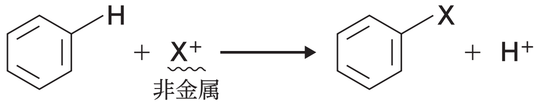
要点

置換反応

「ベンゼン環の H 原子」と「非金属の陽イオン $X^+$」が置き換わる反応。

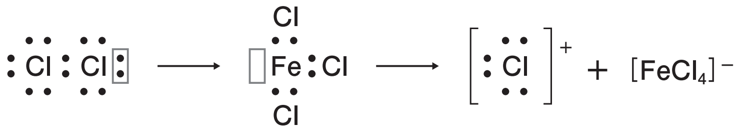
## ◆ 置換反応　重要

ベンゼンの置換反応は「ベンゼン環の H 原子」と「非金属の陽イオン $X^+$」が置き換わる反応である。

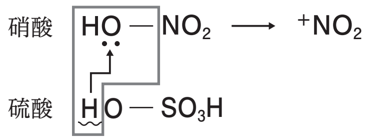


## ◆ 非金属の陽イオンの作り方

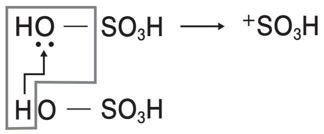
**例 1**　$Cl^+$：$Cl_2 + FeCl_3$



**例 2**　$NO_2^+$：$HNO_3 + H_2SO_4$



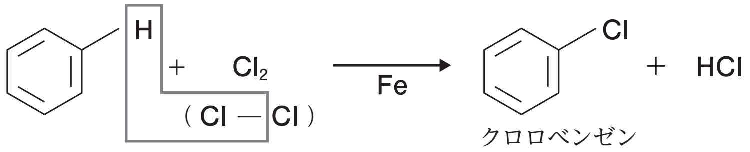
**例 3**　$^+SO_3H$：$H_2SO_4 + H_2SO_4$



## ◆ 代表的な置換反応　重要

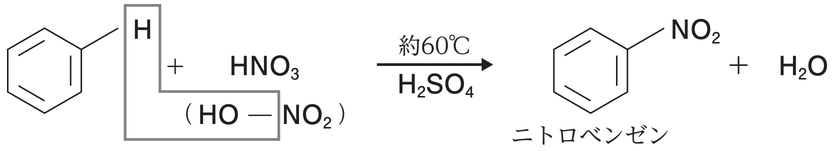
ハロゲン化

ベンゼンに鉄または塩化鉄(Ⅲ)を加えて，塩素を通じる。



ニトロ化

ベンゼンに混酸(濃硝酸と濃硫酸の混合物)を加えて，約 60℃で反応させる。

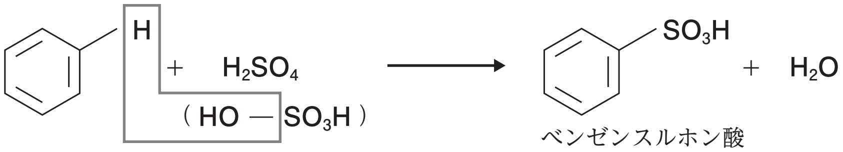


約 60℃で反応させる理由

温度を上げすぎるとさらにニトロ化が進行し，爆発性をもつ *m*- ジニトロベンゼンが生成するため。

スルホン化

ベンゼンに濃硫酸を加えて加熱する。




ベンゼンスルホン酸

**まとめ**

ベンゼンの置換反応

ハロゲン化：ベンゼンに（　　　）または（　　　　　）を加えて塩素を通じる。

ニトロ化　：ベンゼンに（　　　　）を加えて，約（　　　）で反応させる。

スルホン化：ベンゼンに（　　　　　）を加えて加熱する。

# Chapter3　付加反応

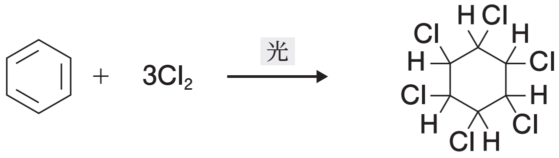
**要点**

付加反応

３分子同時の付加しか進行しない。

## ◆ 付加反応　重要

ベンゼン環の π 結合の電子は，自由に動き回って逃げることができる。よって，付加反応は進行しにくい。３分子同時の付加のみ進行する。




ヘキサクロロシクロヘキサン

シクロヘキサン

**まとめ**

ベンゼンへの付加反応は，（　　　　　）同時の付加のみ進行する。

# Chapter4　アルキルベンゼンの酸化

要点

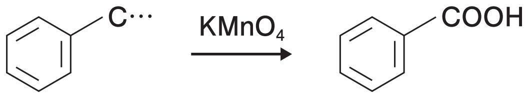
アルキルベンゼンの酸化

アルキルベンゼンに $KMnO_4$(中性下)を加えて加熱すると，アルキル基が酸化される。

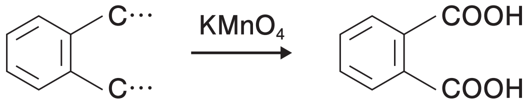
## ◆ アルキルベンゼンの酸化　重要

アルキルベンゼンに過マンガン酸カリウム $KMnO_4$ (中性下)を加えて加熱すると，アルキル基が酸化される。

その結果，ベンゼン環に直結しているC原子が，カルボキシ基に変化する。



安息香酸



フタル酸

まとめ

アルキルベンゼンを $KMnO_4$ で酸化すると，ベンゼン環に直結しているC原子が(　　　　　　　　)に置き換わる。

# Chapter5　演習問題

問　次の (A)，(B) に当てはまる化合物を，化合物名で答えよ。

*o*-キシレン

< Note >

# 第 18 講　PART1　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

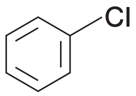
(1)　ベンゼンの二置換体は，何種類存在するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

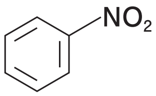
①　1 種類　　②　2 種類
③　3 種類　　④　4 種類

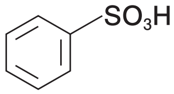
(2)　ベンゼンに濃硫酸を加えて加熱すると，どのような化合物が生成するか。生成する化合物の名称として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

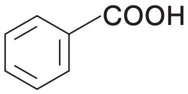
①　クロロベンゼン　　②　ベンゼンスルホン酸
③　ニトロベンゼン　　④　安息香酸

(3)　ベンゼンに混酸を加えて約 60℃で反応させると，どのような化合物が生成するか。生成する化合物の構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①



②


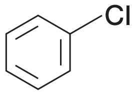

③


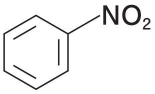

④


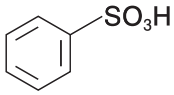

(4)　ベンゼンの付加反応が進行するためには，いくつの分子が同時に付加する必要があるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

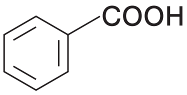
①　2 分子　　②　3 分子
③　4 分子　　④　5 分子

(5)　一置換体のアルキルベンゼンに過マンガン酸カリウム(中性下)を加えて加熱すると，どのような化合物が生成するか。生成する化合物の構造式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 

② 

③ 

④ 

# 第19講　酸素を含む芳香族化合物
# PART1　フェノール①

目標　・フェノールの反応を，しっかりと押さえよう！

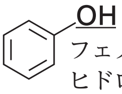
## Chapter1　フェノールの基本事項

**要点**

フェノールの基本事項

・フェノール性ヒドロキシ基をもつ化合物を総称して，フェノール類という。

・フェノール類はアルコールとは異なり，酸性を示す。

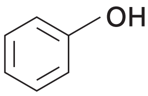
### ◆ フェノール類（  フェノール性ヒドロキシ基 ） 重要



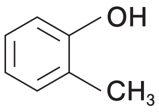
ベンゼン環に直結しているヒドロキシ基をフェノール性ヒドロキシ基といい，フェノール性ヒドロキシ基をもつ化合物を，**フェノール類**という。

同じヒドロキシ基でも，フェノール性ヒドロキシ基は水溶液中でわずかに電離する。そのため，アルコールは中性だが，フェノール類は酸性である。

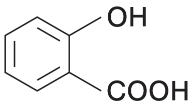
### ◆ 代表的な化合物 重要



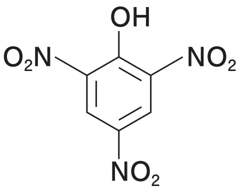

フェノール



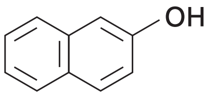

o-クレゾール




サリチル酸




ピクリン酸
（2,4,6-トリニトロフェノール）




2-ナフトール

**まとめ**

ベンゼン環に直結しているヒドロキシ基を，（　　　　　　　　　　　　　　　　）という。アルコールのヒドロキシ基とは異なり，（　　　）性を示す。

# Chapter2　検出反応

**要点**

<u>検出反応</u>

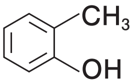
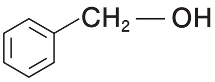
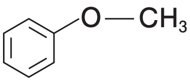
塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると青～紫に呈色する。

## ◆ 検出反応 重要

ヒドロキシ基の検出法である「Naを加えると$H_2$が発生する」反応は，フェノール類でも起こる。そのため，「Naを加えると$H_2$が発生する」という検出法では，フェノール類とアルコールとの区別ができない。

フェノール性ヒドロキシ基だけが検出できる方法は「<u>塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると青～紫に呈色する</u>」ことである。

**例** $C_7H_8O$の芳香族化合物

| | フェノール類 | アルコール | エーテル |
|---|---|---|---|
| 構造式 |  |  |  |
| Naを加える | $H_2$発生 | $H_2$発生 | × |
| 塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加える | 青～紫に呈色 | × | × |

**まとめ**

フェノール性ヒドロキシ基は (　　　　　　　　　　) を加えると，(　　　　　) の呈色反応を示すことを利用して検出できる。

# Chapter3　酸としての強さ

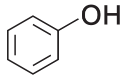
**要点**

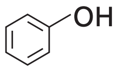
酸としての強さ

非常に弱い酸である。

## ◆ 酸としての強さ　重要

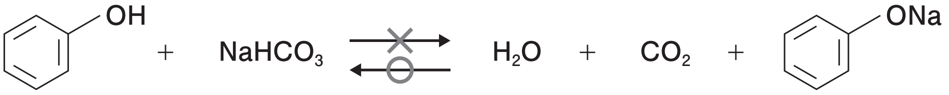
すでにカルボン酸で学んだ通り，フェノールは炭酸よりも弱い酸である。

$-SO_3H$（スルホン酸） ＞ $-COOH$（カルボン酸） ＞ $H_2O + CO_2$（炭酸） ＞ （フェノール）

ここでは「 $H_2O +CO_2$ ＞  」の部分，すなわち「フェノールは炭酸より弱い酸」ということを徹底しておこう。

フェノールは炭酸より弱い酸であるため，$NaHCO_3$ とは反応しない。これは，同じ酸性の芳香族カルボン酸と区別するときに使われる。

また，逆反応は進行することも，酸の強弱から確認しておこう（広義の弱酸遊離反応）。




ナトリウムフェノキシド

**まとめ**

フェノールは，炭酸よりも（　　　　　）酸である。そのため，$NaHCO_3$ とは反応しない。

# Chapter4　置換反応

要点

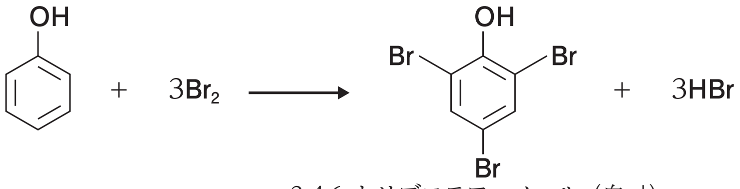
置換反応

フェノールは，オルト位とパラ位で置換反応が進行しやすい(オルト・パラ配向性)。

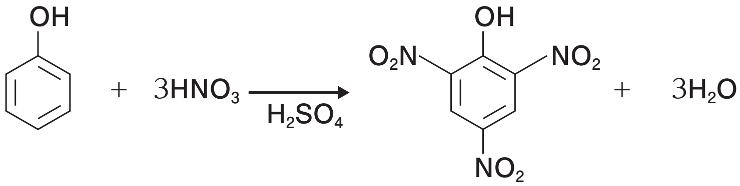
## ◆ 置換反応 重要

フェノールにおいてもベンゼン環の置換反応が進行する。

ただし，オルト位とパラ位で起こる。(オルト・パラ配向性)




2,4,6-トリブロモフェノール（白 ↓）




ピクリン酸
（強酸・爆発性）

まとめ

フェノールの置換反応は，（　　　　　）位と（　　　　）位で起こる。

# Chapter5　エステル化（アセチル化）

要点

エステル化（アセチル化）

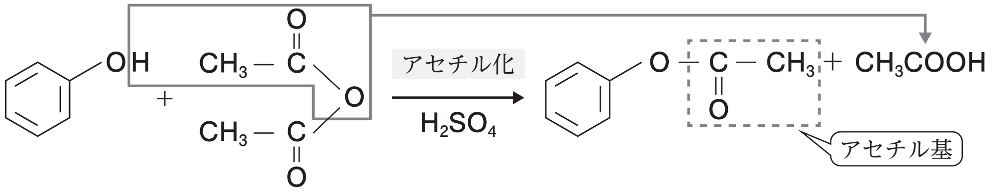
・酸無水物相手にエステル化が進行する。

・特に，無水酢酸を使用してエステル化することを，アセチル化という。

## ◆ エステル化（アセチル化）　重要

アルコール同様，フェノールでもエステル化が起こる。ただし，フェノールは反応性が低いため，カルボン酸ではなく，酸無水物が相手のときだけ進行する。（→第 17 講 PART4）

例




無水酢酸　　　酢酸フェニル

上記の例のように，無水酢酸を使う場合，フェノール性ヒドロキシ基の H 原子がアセチル基に変化するため「アセチル化」とよばれることが多い。

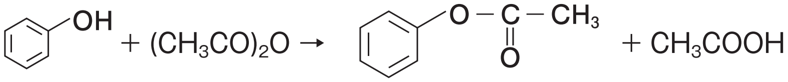
まとめ

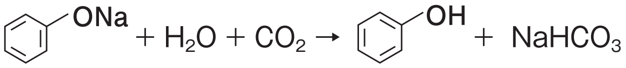
・フェノールは，（　　　　　　）が相手のときにエステル化が起こる。

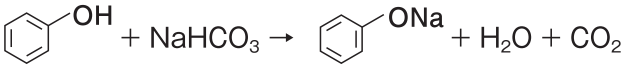
・特に，無水酢酸を使用してエステル化することを，（　　　　　　）化という。

# Chapter6　演習問題

問　次の①～③の反応で進行しないものを，一つ選べ。

①


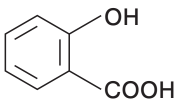

②



③


# 第19講　PART1　確認問題

問1　次の問いに答えよ。

(1)　次に示すフェノール類の名称として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。




①　サリチル酸　　②　*o*-クレゾール

③　ピクリン酸　　④　2-ナフトール

(2)　フェノール類に塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると，何色を呈するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　白色　　②　黒色

③　黄色　　④　紫色

(3)　アルコールとフェノール類に共通する性質として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　酸である。

②　Na を加えると $H_2$ を発生する。

③　塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると呈色する。

(4) カルボン酸，フェノール，炭酸，スルホン酸について，酸としての強さが強い順に並べると，どのようになるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① スルホン酸 ＞ 炭酸 ＞ カルボン酸 ＞ フェノール
② スルホン酸 ＞ カルボン酸 ＞ 炭酸 ＞ フェノール
③ カルボン酸 ＞ フェノール ＞ スルホン酸 ＞ 炭酸
④ カルボン酸 ＞ スルホン酸 ＞ フェノール ＞ 炭酸

(5) フェノールの置換反応が進行しやすい組み合わせとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① オルト位とメタ位　② オルト位とパラ位
③ メタ位とパラ位

(6) フェノールのアセチル化を起こす化合物として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 無水マレイン酸　② 無水酢酸
③ 無水フタル酸

# PART2　フェノール②

目標　フェノールの製法を，しっかりと押さえよう！

## Chapter1　ベンゼンスルホン酸ナトリウムのアルカリ融解

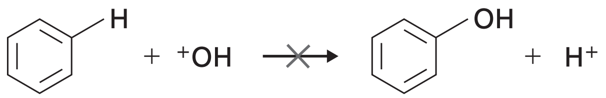
要点

ベンゼンスルホン酸ナトリウムのアルカリ融解

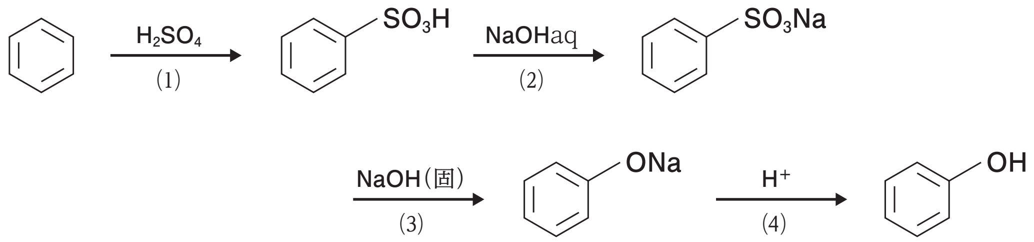
ベンゼンスルホン酸ナトリウムを，固体の水酸化ナトリウムと一緒に加熱し，融解させる。

### ◆ フェノールの製法　重要

フェノールは，ベンゼンの置換反応では簡単につくることができない。そこで，少し複雑な方法で合成する。




### ◆ ベンゼンスルホン酸ナトリウムのアルカリ融解　重要




(1)　ベンゼンのスルホン化

(2)　ベンゼンスルホン酸を NaOHaq で中和

(3)　ベンゼンスルホン酸ナトリウムを固体の NaOH と一緒に加熱し，融解させる(アルカリ融解)

→ 生成するフェノールは NaOH と中和反応を起こし，ナトリウム塩に変化

(4)　フェノールより強い酸を加えて，弱酸のフェノールを遊離させる(広義の弱酸遊離反応)

**まとめ**

ベンゼンスルホン酸ナトリウムと固体の水酸化ナトリウムを一緒に加熱し，融解させる操作を（　　　　　　　　）という。

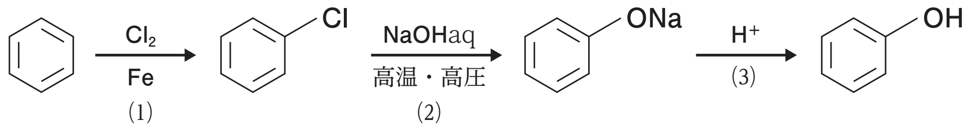
# Chapter2　クロロベンゼンの加水分解

**要点**

クロロベンゼンの加水分解

クロロベンゼンに，高温・高圧で水酸化ナトリウム水溶液を反応させる。

## ◆ クロロベンゼンの加水分解　重要




(1)　ベンゼンのハロゲン化

(2)　高温・高圧で NaOHaq と反応させる
→ $Cl^-$ と $OH^-$ の置換。ただし，生成するフェノールは NaOH と中和反応を起こし，ナトリウム塩に変化

(3)　フェノールより強い酸を加えて，弱酸のフェノールを遊離させる（広義の弱酸遊離反応）

**まとめ**

クロロベンゼンを（　　　　）・（　　　　）で NaOHaq と反応させると，ナトリウムフェノキシドが生成する。

# Chapter3　クメン法

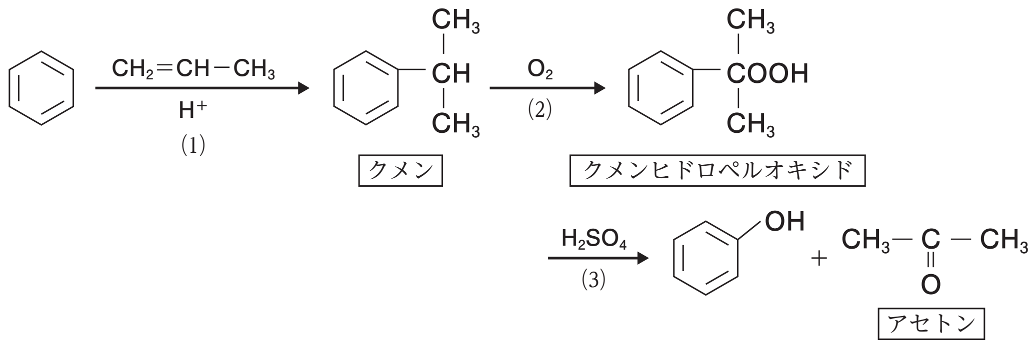
要点

クメン法

フェノールの工業的製法である。副産物としてアセトンが生じる。

## ◆ クメン法 重要

クメン法は，フェノールの工業的製法である。




(1)　ベンゼンとプロピレンを，酸触媒下で反応させる

→ クメンが生成

(2)　クメンを空気酸化

→ ベンゼン環に直結しているC原子が酸化され，クメンヒドロペルオキシドが生成

(3)　クメンヒドロペルオキシドを希硫酸で分解

→ フェノール以外に，重要な有機溶媒であるアセトンが生成

まとめ

クメン法では，フェノール以外に（　　　　　　）が生成する。

# Chapter4　塩化ベンゼンジアゾニウムの加水分解

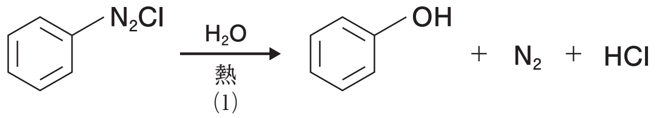
**要点**

塩化ベンゼンジアゾニウムの加水分解

塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液を加熱する。

反応により，窒素が発生する。

## ◆ 塩化ベンゼンジアゾニウムの加水分解　重要




(1)　塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液を加熱する

→ 気体の $N_2$ が発生し，フェノールが生成する

塩化ベンゼンジアゾニウムは，5℃以上で加水分解が進行するため，塩化ベンゼンジアゾニウムが関わる反応はすべて，5℃以下に冷却しておこなう。

次の第20講 PART1(アニリン)で扱うため，頭に入れておこう。

**まとめ**

塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液を加熱すると，(　　　　　　)を発生しながらフェノールが生成する。

# Chapter5　サリチル酸

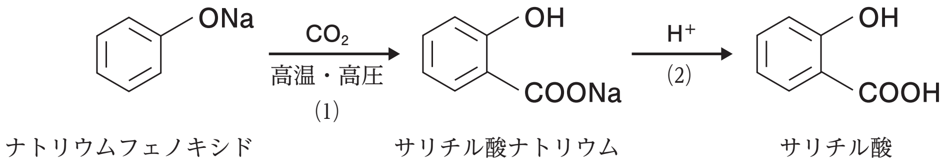
要点

サリチル酸

サリチル酸は，医薬品の原料として利用される物質である。

## ◆ サリチル酸の製法　重要

フェノールから合成されるサリチル酸は，解熱鎮痛剤や消炎剤などの原料になる。

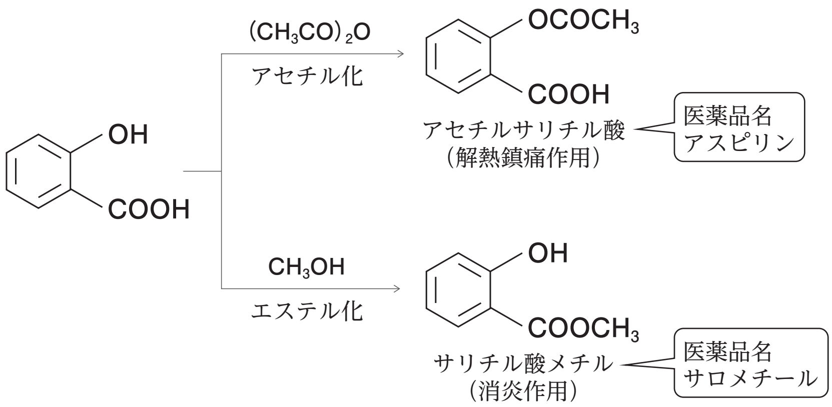



(1)　ナトリウムフェノキシドに $CO_2$ を高温・高圧で反応させる

→ サリチル酸ナトリウムが生成

(2)　希硫酸などの酸を加え，カルボン酸を遊離させる(弱酸遊離反応)

## ◆ サリチル酸の反応　重要




まとめ

・サリチル酸を無水酢酸と反応させて得られる（　　　　　　　　　　　　）は，

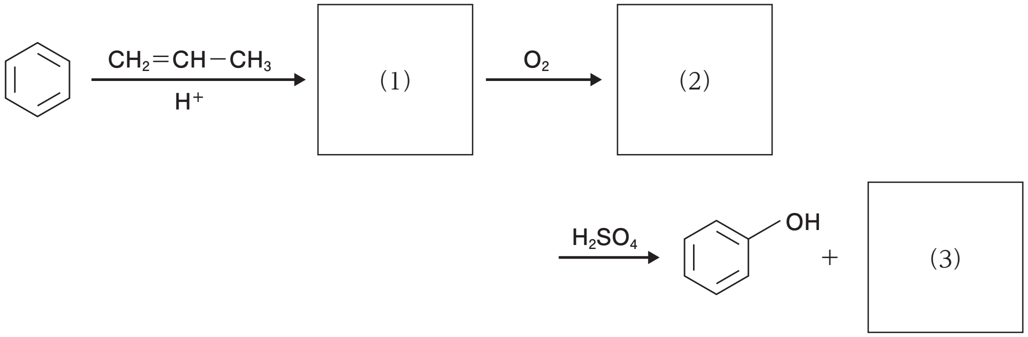
（　　　　　　　　）作用がある。

・サリチル酸をメタノールと反応させて得られる(　　　　　　　　　　　　)は，

（　　　　　　　　）作用がある。

# Chapter6　演習問題

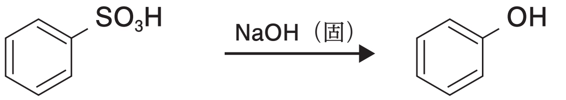
**問**　以下は，クメン法の流れを表したものである。次の(1)~(3)に当てはまる化合物を，構造式で表せ。

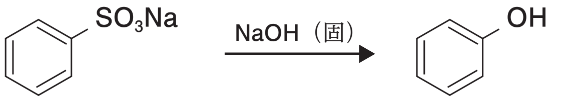


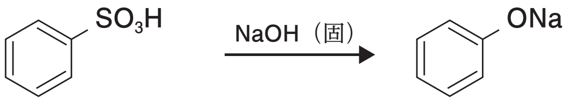
# 第19講　PART2　確認問題

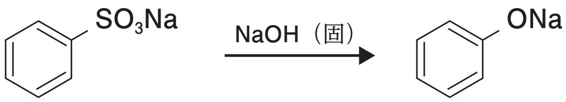
問１　次の問いに答えよ。

(1)　フェノールの製法にはアルカリ融解を用いた製法があるが，次の①～④のうち，フェノールを生成する過程で起こるアルカリ融解を表したものはどれか。最も適当なものを一つ選べ。

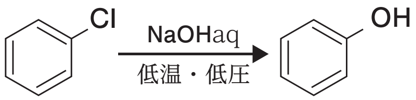
①


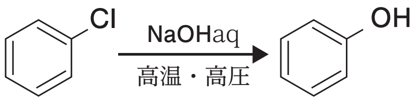

②


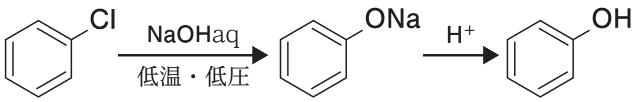

③


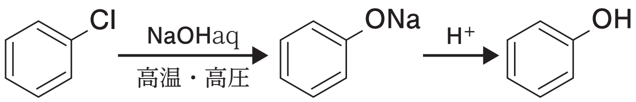

④



(2)　クロロベンゼンを加水分解するとフェノールが得られるが，クロロベンゼンからフェノールが生成するまでの流れを表したものとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①



②



③



④


⑶ クメン法はフェノールの工業的製法であるが，副産物として何が生成するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① クメン　　② プロピレン
③ アセトン　　④ クメンヒドロペルオキシド

⑷ 塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液を加熱すると，フェノールとともに何が発生するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 酸素　　② 窒素
③ 水素　　④ 塩素

⑸ サリチル酸は，サリチル酸ナトリウムに塩酸などの酸を加えることで得られるが，このサリチル酸ナトリウムを得るためには，ナトリウムフェノキシドに高温・高圧で何を反応させればよいか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 水素　　② 酸素
③ メタン　　④ 二酸化炭素

# 第 20 講　窒素を含む芳香族化合物
# PART1　アニリン

目標　・アニリンの性質と反応を，しっかりと押さえよう！

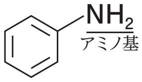
## Chapter1　アニリンの基本事項

**要点**

アニリンの基本事項

ベンゼン環にアミノ基が直結している化合物を芳香族アミンといい，代表的な芳香族アミンが，アニリンである。

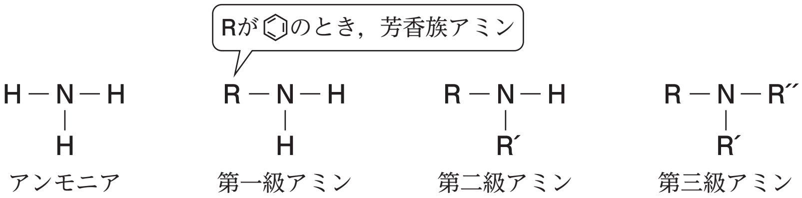
アニリンはアミンなので，塩基性である。

### ◆ 芳香族アミン（  ） 重要



ベンゼン環にアミノ基が直結している化合物を，総称して「芳香族アミン」という。

アミンとは，アンモニアの H 原子がアルキル基で置き換わったものである。

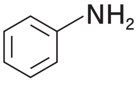



芳香族アミンは，アンモニア同様 $H^+$ を受け入れることができるため，塩基性を示す。

### ◆ 代表的な化合物 重要

芳香族アミンの代表的な化合物は，右のアニリンである。

以下，アニリンについて考えていく。




アニリン

**まとめ**

芳香族アミンは，（　　　　）性である。ベンゼン環にアミノ基のみが結合している物質の化合物名は，（　　　　　　）という。

# Chapter2　アニリンの酸化

要点

アニリンの酸化

・アニリンは，酸化されやすい。

・加えた酸化剤に対してどのような現象が見られるかが重要である。

## ◆ アニリンの酸化　重要

アニリンは，無色・油状の物質。酸化されやすい。

(1)　空気中 ($O_2$) → **赤褐色に変化**

空気中では徐々に酸化され，赤褐色に変化する

(2)　さらし粉 ($ClO^-$) → **赤紫色に変化＜アニリンの検出法＞**

(3)　二クロム酸カリウム ($Cr_2O_7{}^{2-}$) → **黒色沈殿(アニリンブラック)**

十分に酸化すると黒色沈殿が生じる。

これは，黒色の染料や顔料として利用されている。

まとめ

・アニリンにさらし粉水溶液を加えると，(　　　　　) 色に呈色する。

・二クロム酸カリウムを加えると，(　　　　　　　　　　) とよばれる黒色沈殿に変化する。

# Chapter3　アミド化

要点

アミド化

カルボン酸(または酸無水物)と反応し，アミドが生成する。

### ◆ アミド化 重要

カルボン酸(または酸無水物)と反応し，$-NH-CO-$結合をもつアミドが生成する。

**例**

アセトアニリド

上の例のように，アニリンと酢酸(無水酢酸)から生じるアミドを，アセトアニリドという。

**まとめ**

アニリンと酢酸から生じるアミドを，(　　　　　　　　　　)という。

## Chapter4　ジアゾ化・カップリング(ジアゾカップリング)

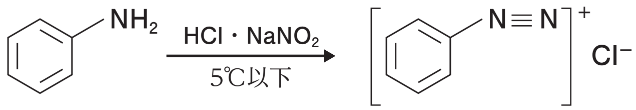
**要点**

ジアゾ化・カップリング(ジアゾカップリング)

ジアゾ化もカップリング(ジアゾカップリング)も，5℃以下に冷却しながらおこなう。

### ◆ ジアゾ化 重要

冷却しながら，アニリンに塩酸と亜硝酸ナトリウムを加えて反応させると，塩化ベンゼンジアゾニウムが生成する。



塩化ベンゼンジアゾニウム

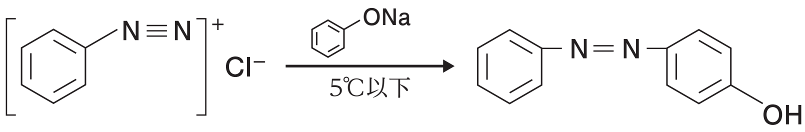
このように，アミノ基をもつ化合物からジアゾニウム塩を得る反応を，**ジアゾ化**という。

アニリンのジアゾ化は，5℃以上だと塩化ベンゼンジアゾニウムがフェノールに変化してしまう(→第19講 PART 2)ため，冷却しながらおこなう。

## ◆ カップリング（ジアゾカップリング） 重要

※本講義では，「カップリング」というとき，「ジアゾカップリング」をさしている。

冷却しながら塩化ベンゼンジアゾニウムとナトリウムフェノキシドを反応させると，*p*-フェニルアゾフェノール(*p*-ヒドロキシアゾベンゼン)が生成する。




*p*-フェニルアゾフェノール
(*p*- ヒドロキシアゾベンゼン)

アニリンのジアゾ化同様，5℃以上だと塩化ベンゼンジアゾニウムがフェノールに変化してしまうため，冷却しながらおこなう。

また, カップリング（ジアゾカップリング）により生じる−N＝N−をアゾ基, アゾ基をもつ化合物をアゾ化合物という。アゾ化合物の多くは染料として利用され，アゾ染料とよばれている。

**まとめ**

塩化ベンゼンジアゾニウムは，5℃以上で（　　　　　　　　）に変化してしまうため，ジアゾ化とカップリング（ジアゾカップリング）は冷却しながらおこなう。

# Chapter5　アニリンの製法

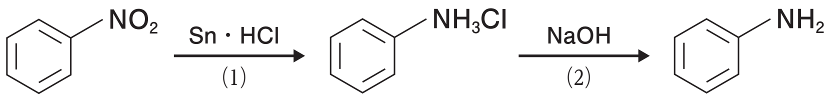
要点

アニリンの製法

ニトロベンゼンを還元する。

## ◆ アニリンの製法　重要

ニトロベンゼンを還元すると，アニリンが得られる。




(1)　スズ Sn(還元剤)と塩酸(酸性条件)を用いて，ニトロベンゼンを還元する

→ 生成するアニリンは，塩酸と中和反応を起こし，アニリン塩酸塩に変化する

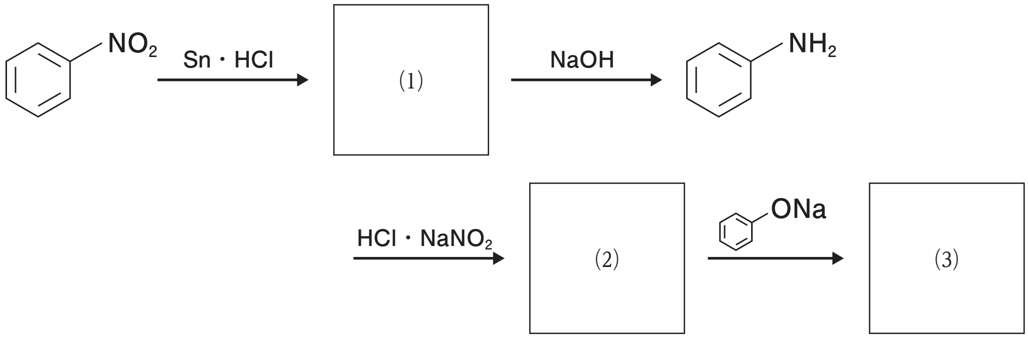
(2)　NaOH を加えて，アニリンを遊離させる(弱塩基遊離反応)

まとめ

アニリンは，ニトロベンゼンを（　　　　）してつくる。

# Chapter6　演習問題

問　アニリンに関する次の(1)~(3)に当てはまる化合物を，構造式で表せ。



＜ Note ＞

# 第20講 PART1 確認問題

問1 アニリンは芳香族アミンの１種であり，（ ア ）を示す。アニリンは酸化されやすく，二クロム酸カリウムを加えると黒色沈殿(アニリンブラック)に変化し，さらし粉水溶液を加えると（ イ ）に呈色する。また，アニリンと（ ウ ）から生じるアミドを，アセトアニリドという。

(1) 文中の（ ア ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 酸性　② 中性
③ 塩基性

(2) 文中の（ イ ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 白色　② 赤紫色
③ 黒色　④ 黄色

(3) 文中の（ ウ ）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ギ酸　② 酢酸
③ 安息香酸　④ サリチル酸

**問 2**　アニリンに塩酸と（　ア　）を加えて反応させると，塩化ベンゼンジアゾニウムが生成する。塩化ベンゼンジアゾニウムは（　イ　）℃以上だとフェノールに変化してしまうため，この反応は冷却しながらおこなう。塩化ベンゼンジアゾニウムを冷却しながら（　ウ　）と反応させると，*p*-フェニルアゾフェノール（*p*-ヒドロキシアゾベンゼン）が生成する。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　硫酸ナトリウム　　②　亜硫酸ナトリウム
③　硝酸ナトリウム　　④　亜硝酸ナトリウム

(2)　文中の（　イ　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　−10　　②　−5
③　0　　④　5

(3)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　エタノール　　②　ナトリウムエトキシド
③　フェノール　　④　ナトリウムフェノキシド

(4)　アニリンは何を還元することで得られるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ベンゼン　　②　クロロベンゼン
③　ニトロベンゼン　　④　安息香酸

# 第 21 講　有機化合物の分離
# PART1　芳香族化合物の分離

**目標**　・抽出による芳香族化合物の分離方法を，しっかりと押さえよう！

## Chapter1　芳香族化合物の分離

**要点**

芳香族化合物の分離

芳香族化合物の分離は，抽出を利用し，分液ろうとを用いておこなう。

### ◆ 芳香族化合物の分離　重要

ほとんどの芳香族化合物は極性が小さく，水(極性溶媒)には溶解しない。一方，エーテルのような有機溶媒(無極性溶媒)には溶解する。

ところが，中和反応などで塩になると，水に溶解するがエーテルには溶解しない。

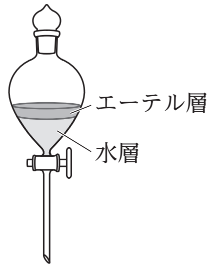
芳香族化合物 ⇄ 芳香族化合物の塩
（→ 中和反応など　← 弱酸遊離反応など）

| | 芳香族化合物 | 芳香族化合物の塩 |
| --- | --- | --- |
| 水 | 不溶 | 可溶 |
| 有機溶媒 | 可溶 | 不溶 |

エーテル
水

これを利用して芳香族化合物の分離をおこなう。まず，芳香族化合物の混合物をエーテルに溶解させ，その中で特定のもの(物質 X)だけが反応する水溶液を加える。すると，物質 X は反応して塩に変わり，水溶液中に移動する(物質 X を分離できる)。

このように，溶解性の違いを利用した分離法を**抽出**といい，抽出には**分液ろうと**が用いられる。



分液ろうと

一般的な有機溶媒は水より軽いため，エーテルが上層になり，水が下層になる。

**まとめ**

芳香族化合物の分離によく用いられる，物質の溶解性の違いを利用した分離方法は，（　　　　）である。このとき使う実験器具は（　　　　　　　）である。

# Chapter2　分離の手順

**要点**

分離の手順

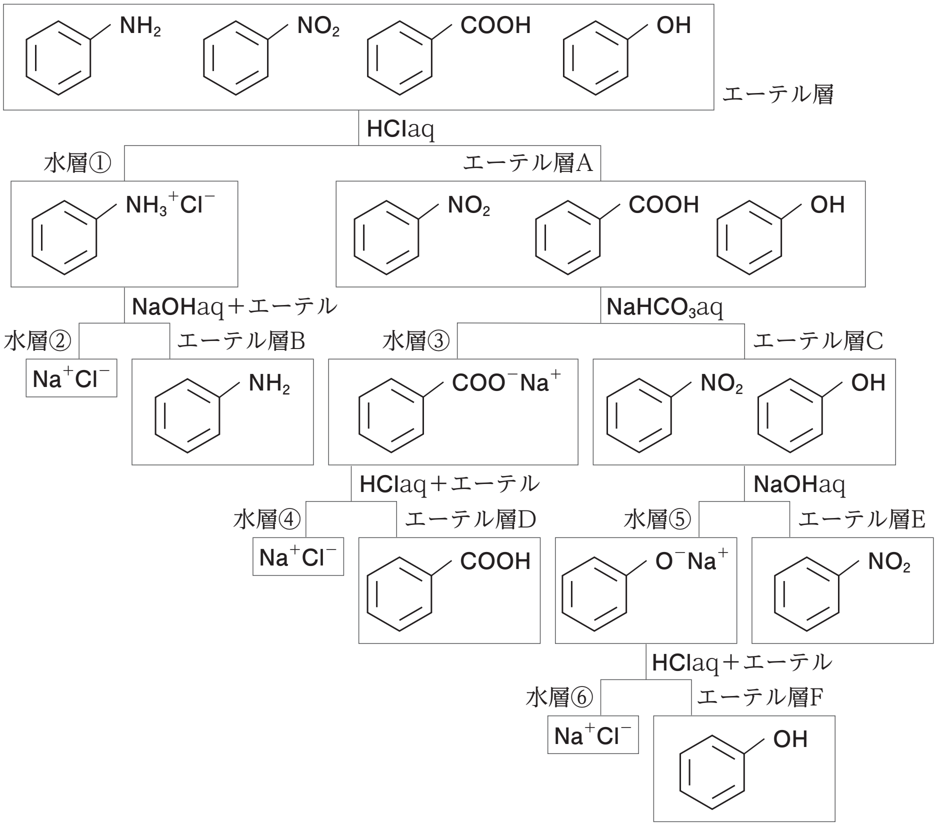
反応して塩に変化した化合物を，水層へ移動させる。

## ◆ 分離の手順 重要

分離のポイントは，「反応して塩になった化合物を，水層へ移動させる」である。

代表的な4つの芳香族化合物を例に，分離の手順の一つを確認してみよう。

**例**

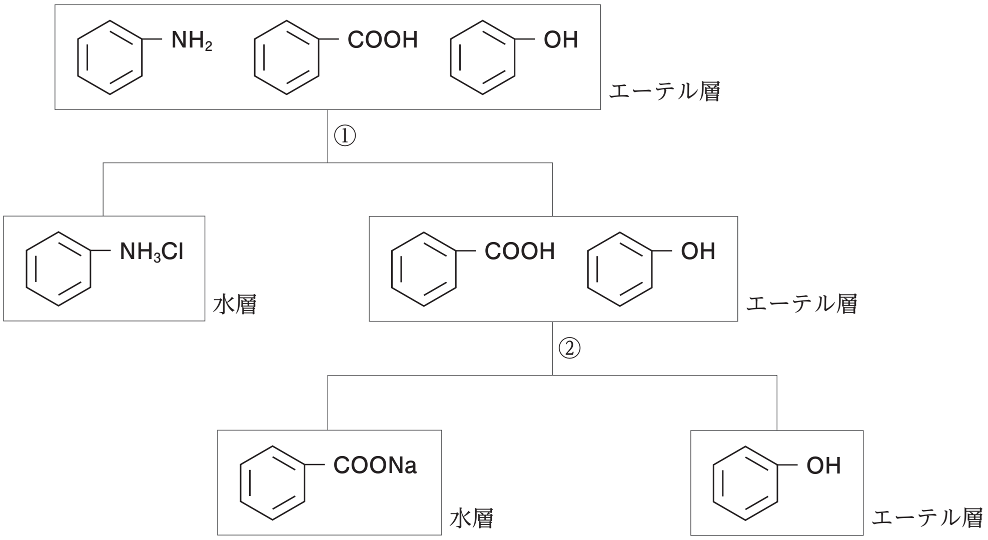


**まとめ**

芳香族化合物の分離のポイントは，「反応して塩になった化合物を（　　　　　）へ移動させる」である。

## Chapter3　演習問題

**問**　エーテルに溶解している３つの芳香族化合物(アニリン・安息香酸・フェノール)を，次の操作で分離した。操作①，②で加える試薬として適切なものを，あとのａ～ｅの中からそれぞれ一つずつ選べ。




a.　塩酸　　　　　　　　　　　b.　硝酸ナトリウム水溶液

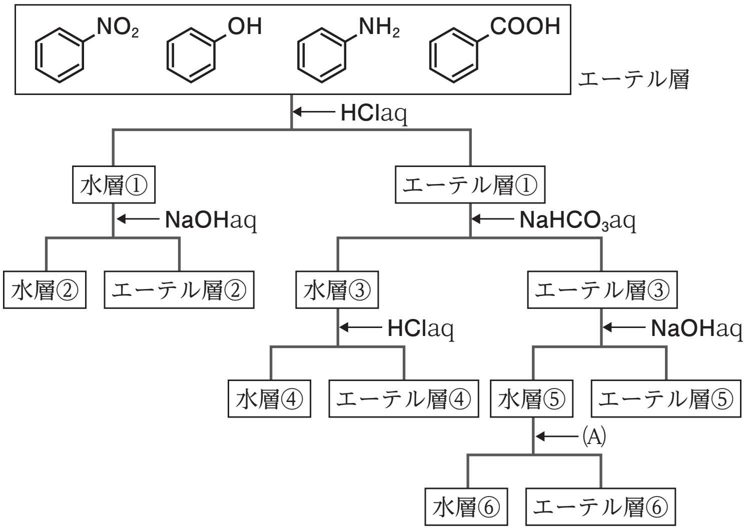
c.　水酸化ナトリウム水溶液　　d.　炭酸水素ナトリウム水溶液

e.　塩化ナトリウム水溶液

## < Note >

# 第 21 講　PART1　確認問題

問 1　エーテルに溶解している４つの芳香族化合物(ニトロベンゼン，フェノール，アニリン，安息香酸)を，次の操作で分離した。この操作について，あとの問いに答えよ。




(1)　水層①に存在する化合物として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ニトロベンゼン　　②　ナトリウムフェノキシド
③　アニリン塩酸塩　　④　安息香酸ナトリウム

(2)　水層③に存在する化合物として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ニトロベンゼン　　②　ナトリウムフェノキシド
③　安息香酸　　④　安息香酸ナトリウム

(3)　エーテル層⑤に存在する芳香族化合物として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ニトロベンゼン　　②　フェノール
③　アニリン　　④　安息香酸

(4) (A)で加える水溶液として適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① 水酸化ナトリウム水溶液　② 塩酸

(5) 分液ろうとを使って抽出するとき，上層になるのはエーテル層，水層のどちらか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① エーテル層　② 水層

# 第22講　糖類
# PART1　単糖類

目標　・糖類とは何かを知り，単糖類について学ぼう！

## Chapter1　糖類の基本事項

要点

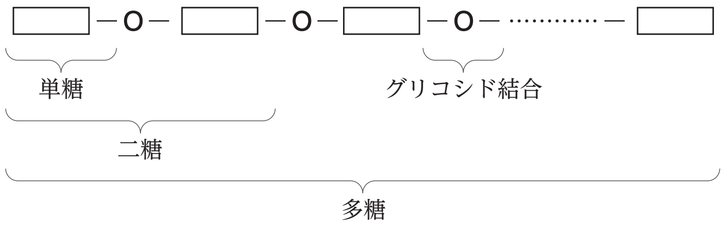
糖類の基本事項

一般式が，$C_nH_{2m}O_m$ の天然高分子化合物

### ◆ 糖類　重要

糖類とは，一般式が $C_nH_{2m}O_m$ の天然高分子化合物である。この一般式は $C_n(H_2O)_m$ と表すことができ，まるで「炭素 C」と「水 $H_2O$」からできているように見えるため，**炭水化物**ともいわれる。

高分子化合物に相当するのは多糖だが，それを構成する単糖で糖の基本を学び，二糖で糖の結合について学ぼう。




単糖間にできる結合(−O−)を，**グリコシド結合**という。

まとめ

多糖は，単糖が（　　　　　　　　）結合でつながった天然高分子化合物である。

# Chapter2　グルコース①

**要点**

グルコース

生体内でエネルギー源になる糖。水中で，3 つの構造が平衡状態になっている。

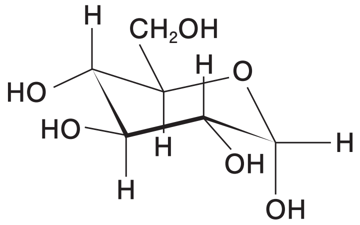
## ◆ 単糖類の分子式と分子量 **重要**

この講で扱う単糖類は，基本的に C 原子数が 6 の単糖，すなわち $C_6H_{12}O_6$（分子量 180）である。$C_6H_{12}O_6$ の分子式と分子量は即答できるようになっておこう。

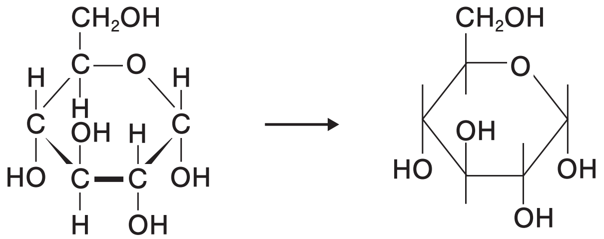
## ◆ グルコースと表し方 **重要**

グルコースはブドウ糖ともよばれ，生体内でエネルギー源になる糖である。

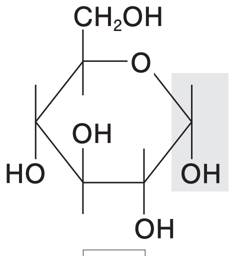
グルコースの結晶は，次のような環状構造からできている。



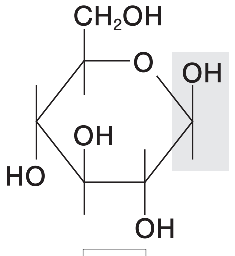

この構造式では扱いにくいため，通常，問題等では下図（左）のような構造式で与えられる。また，この講座では，それをさらに略した下図（右）のような略記で表現していく。




下のような構造において，環の一番右の C 原子に結合している－OH が下を向いていたら $\alpha$-グルコース，上を向いていたら $\beta$-グルコースという。



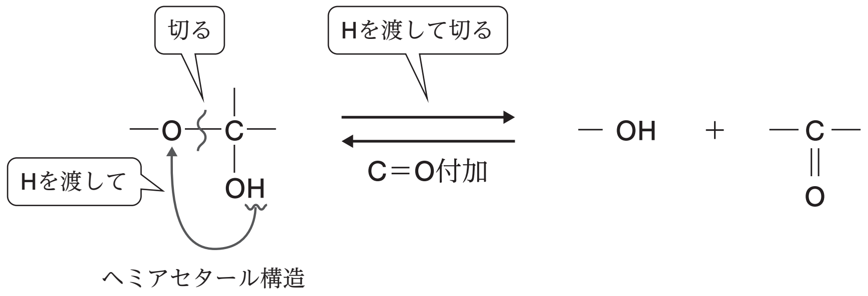

$\alpha$ 型




$\beta$ 型

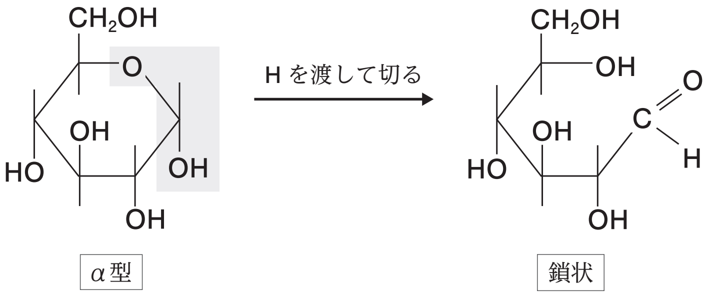
## ◆ ヘミアセタール構造 重要

グルコースの環状構造には極性の大きい−OH が５つもあるため，グルコースは水に溶解する。水に溶解したとき，鎖状構造になる糖は以下の構造(ヘミアセタール構造) をもつ。

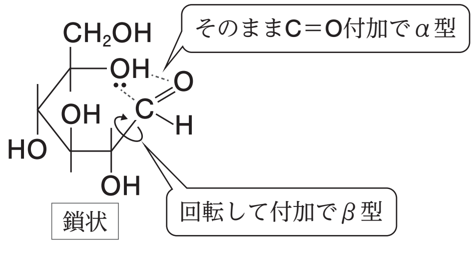


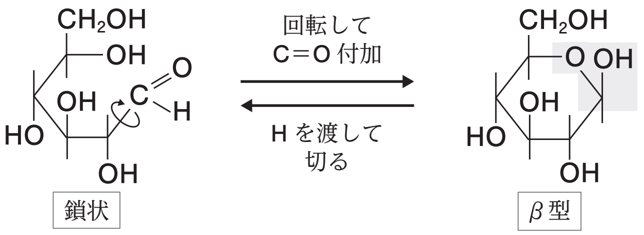

## ◆ グルコースの水中での平衡 重要

まず，α型のヘミアセタール構造を開環してみる。

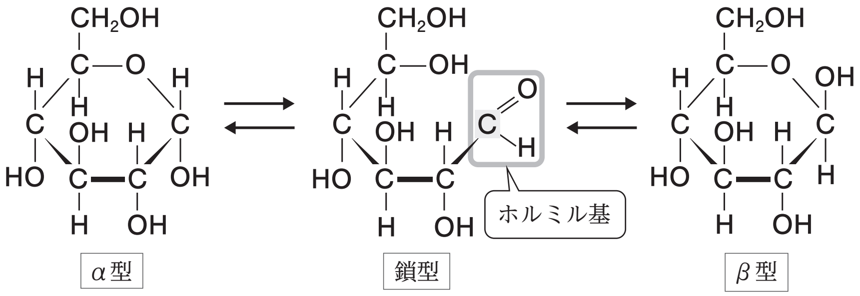



鎖状から環状になるとき，α型に戻るときと，以下のように回転してβ型になるときが生じる。



以上より，グルコースは水中ではα型，鎖状，β型の３つが平衡状態で存在する。




鎖状構造にはホルミル基が存在するため，グルコースの水溶液は還元性を示す。

**まとめ**

グルコースは，水中では（　　　　　）・（　　　　　）・（　　　　　）の３つの構造が平衡状態になっており，そのうち１つは（　　　　　　　）をもつため，グルコースの水溶液は還元性を示す。

# Chapter3　グルコース②

**要点**

グルコースの定量法

糖類の定量には，フェーリング液の還元反応が利用されている。

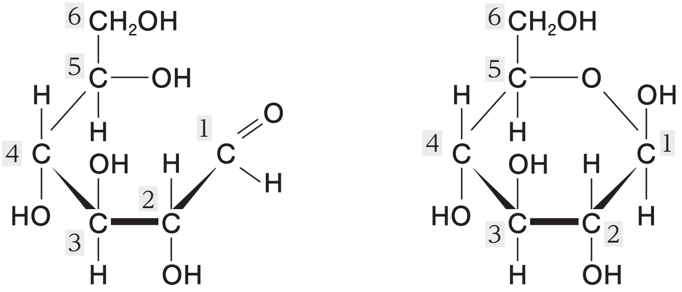
## ◆ C原子の番号の付け方　重要

単糖を構成しているC原子は，以下のように１～６の番号をつけて認識する。

番号の付け方

鎖状になったとき，C＝Oがあるほうの末端から順に１・２・３…とつける。

グルコースでは，以下のようになる。



### ◆ 糖の定量法 重要

グルコースのように還元性をもつ糖は，それを利用し，フェーリング液を還元する反応で定量する。

フェーリング液の還元反応によって生じる $Cu_2O$ の物質量とグルコースの物質量が等しくなる。

### ◆ アルコール発酵 重要

グルコースの水溶液にチマーゼという酵素を加えると，エタノールと二酸化炭素が生成する。これを，アルコール発酵という。

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

**まとめ**

グルコースの水溶液にチマーゼという酵素を加えると，（　　　　　　　）と（　　　　　　　）が生成する。

## Chapter4　フルクトース

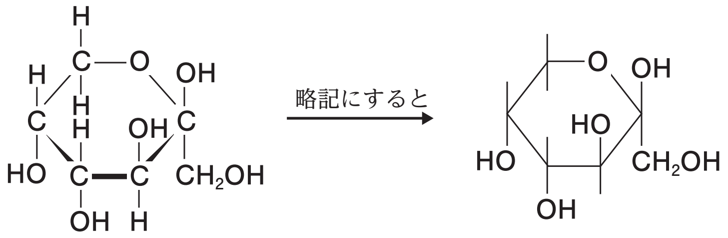
**要点**

フルクトース

水中で六員環と鎖状以外に，五員環も存在する。

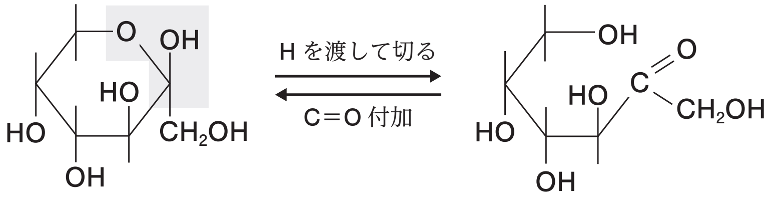
### ◆ フルクトース 重要

フルクトースのβ型(六員環)は以下のようである。




β型（六員環）

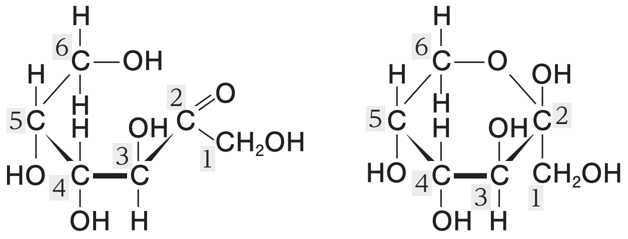
ヘミアセタール構造が存在するため，開環すると鎖状構造ができる。



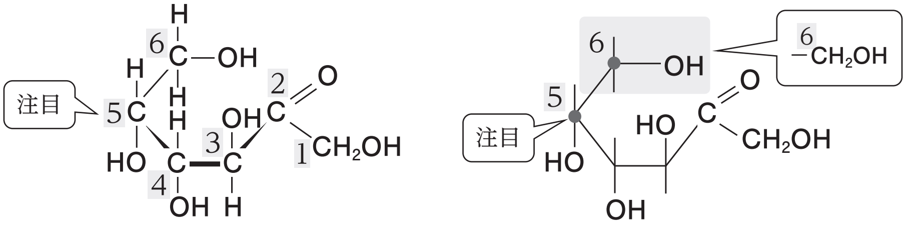

β型（六員環）　　鎖状

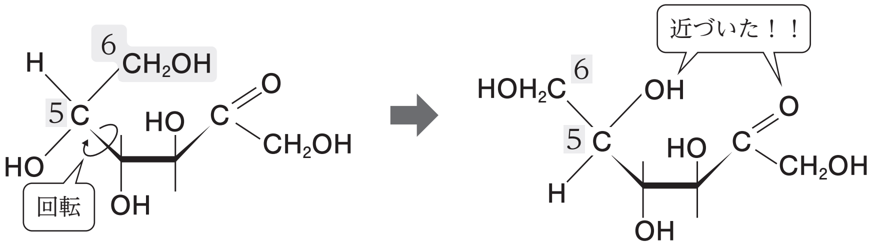
グルコース同様，α型(六員環)も存在する。

また，C原子に番号をつけると次のようになる。

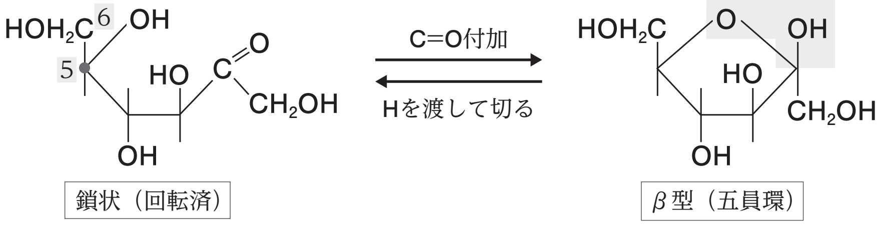


次に，５番のC原子に結合している−OHをC=Oに近づけると，以下のようになる。

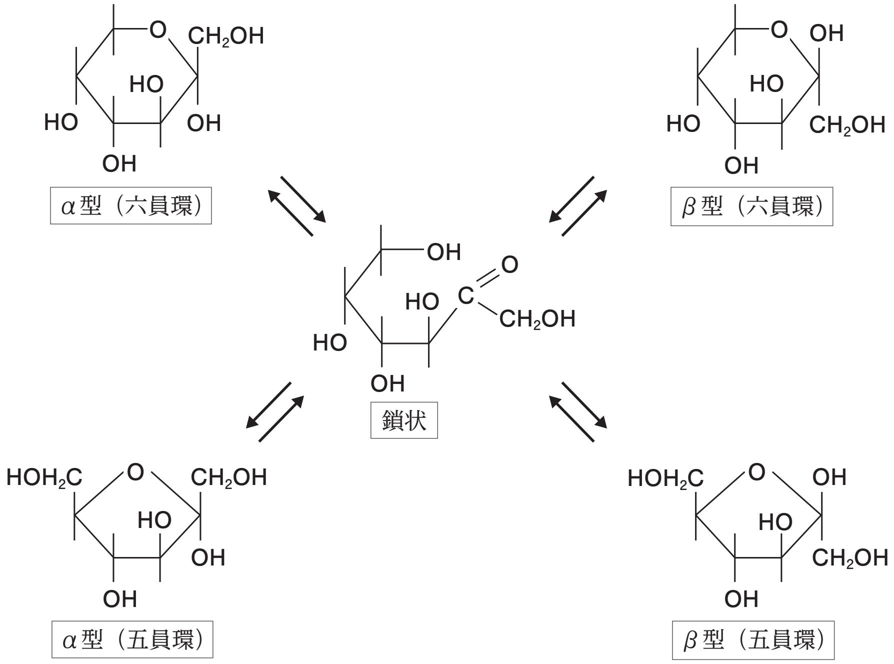


５番の－OH と C＝O が近づいたため，そのまま付加させると五員環になる。五員環にも β 型と α 型が存在する。

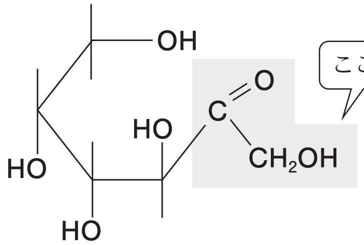



以上より，フルクトースは５つの構造が平衡状態になる。

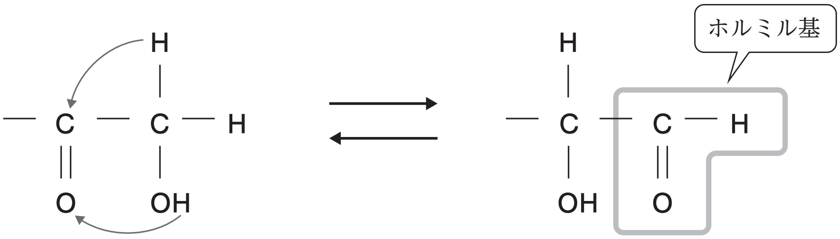


### ◆ フルクトースの還元性　重要

鎖状フルクトースには以下に示す，還元性を示す部分がある。




この部分は，水中でホルミル基をもつ構造と平衡状態になっているため，フルクトースの水溶液は還元性を示す。

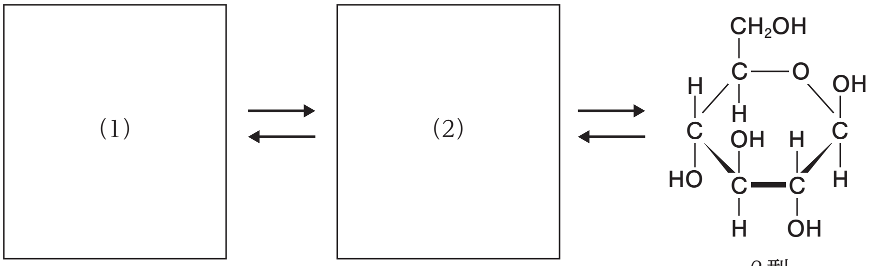



**まとめ**

フルクトースは水中で，鎖状以外に，六員環や（　　　　　）が平衡状態で存在している。

## Chapter5　演習問題

問　グルコースの水溶液中での構造に関して，以下の平衡状態にある 3 種の構造異性体のうち，(1)と(2)に当てはまる適切な構造を記せ。




β 型

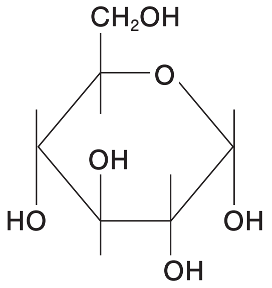
# 第22講 PART1　確認問題

問 1　グルコースは，分子量（　ア　）の単糖類の 1 つであり，ブドウ糖ともよばれ，生体内でエネルギー源になる糖である。グルコースは，水中では (a) α型・鎖状・β型の 3 つの構造が平衡状態になっており，（　イ　）のグルコースにはホルミル基が存在するため，グルコースの水溶液は還元性を示す。また，グルコースの水溶液にチマーゼという酵素を加えると，エタノールと（　ウ　）が生成し，これをアルコール発酵という。

(1)　文中の（　ア　）に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　120　　②　150
③　180　　④　210

(2)　文中の下線部 (a) について，次の構造はグルコースのどの構造を表したものか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。




①　α型　　②　鎖状
③　β型

(3) 文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① α型　② 鎖状

③ β型

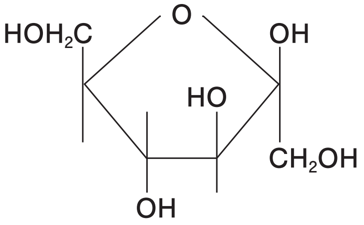
(4) 文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① メタン　② 酸素

③ 二酸化炭素　④ 水素

**問2** フルクトースも単糖類の1つであるが，フルクトースは水中で (a)<u>六員環と鎖状以外に，五員環も平衡状態で存在している</u>。（　ア　）のフルクトースは，水中でホルミル基をもつ構造と平衡状態になっているため，フルクトースの水溶液は還元性を示す。

(1) 文中の下線部 (a) について，次の構造はフルクトースのどの構造を表したものか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。




① α型（五員環）　② β型（五員環）

③ α型（六員環）　④ β型（六員環）

(2) 文中の（　ア　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 六員環　② 鎖状

③ 五員環

# PART2　二糖類

目標　・代表的な二糖類について学ぼう！

## Chapter1　二糖類の基本事項

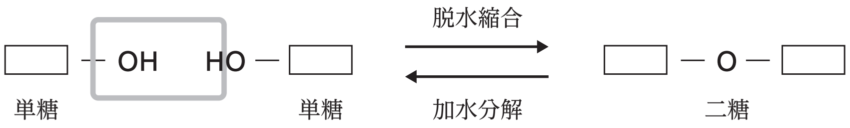
要点

二糖類の基本事項

2つの単糖がグリコシド結合でつながった糖で，分子式 $C_{12}H_{22}O_{11}$，分子量 342。

### ◆ 二糖類　重要

二糖類とは，単糖(分子式 $C_6H_{12}O_6$・分子量 180) 2つが脱水縮合し，グリコシド結合でつながった糖である。




よって，

分子式は　$C_6H_{12}O_6 \times 2 - H_2O = C_{12}H_{22}O_{11}$

分子量は　$180 \times 2 - 18 = 342$

である。

二糖類に関しては「どんな単糖2つが，どこで結合したか」をしっかりと押さえていこう。

まとめ

二糖類の分子式は（　　　　　　　　），分子量は（　　　　）である。

# Chapter2　マルトース

**要点**

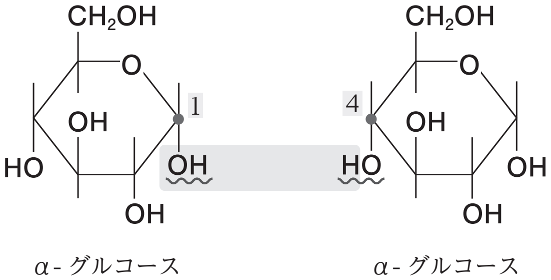
マルトース

$\alpha$-グルコース＋$\alpha$-または$\beta$-グルコース（1,4 結合）

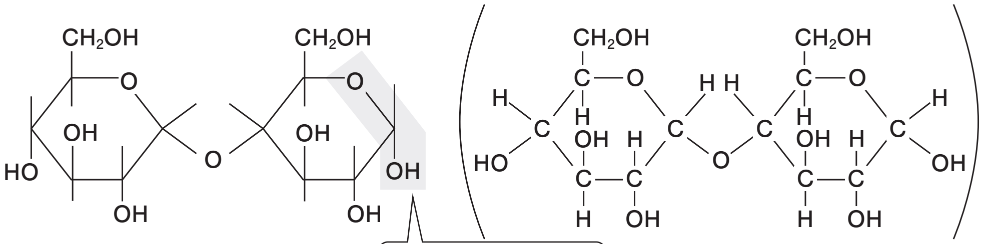
## ◆ マルトース　重要

マルトースは，$\alpha$-グルコースと$\alpha$-または$\beta$-グルコースが 1,4 結合した二糖である。

1 位の－OH と 4 位の－OH が隣同士なので，そのまま脱水縮合させることができる。




以上より，マルトースは以下のような構造で表すことができる。




マルトースにはヘミアセタール構造があるので，水中で開環し，ホルミル基を生じる。すなわち，水溶液が還元性を示す二糖である。

加水分解酵素は，**マルターゼ**である。

**まとめ**

マルトースは，（　　　　　　　）と$\alpha$-または$\beta$-グルコースが（　　　）位と（　　　）位で結合した二糖類である。

# Chapter3　スクロース

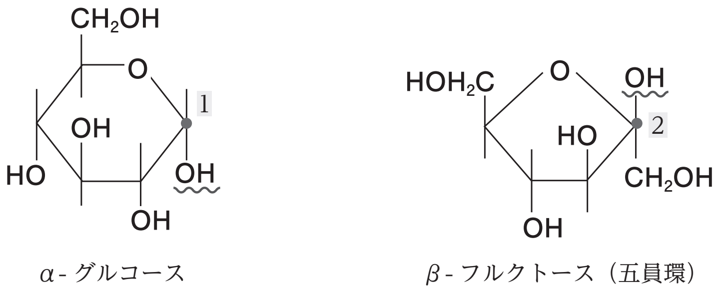
要点

スクロース

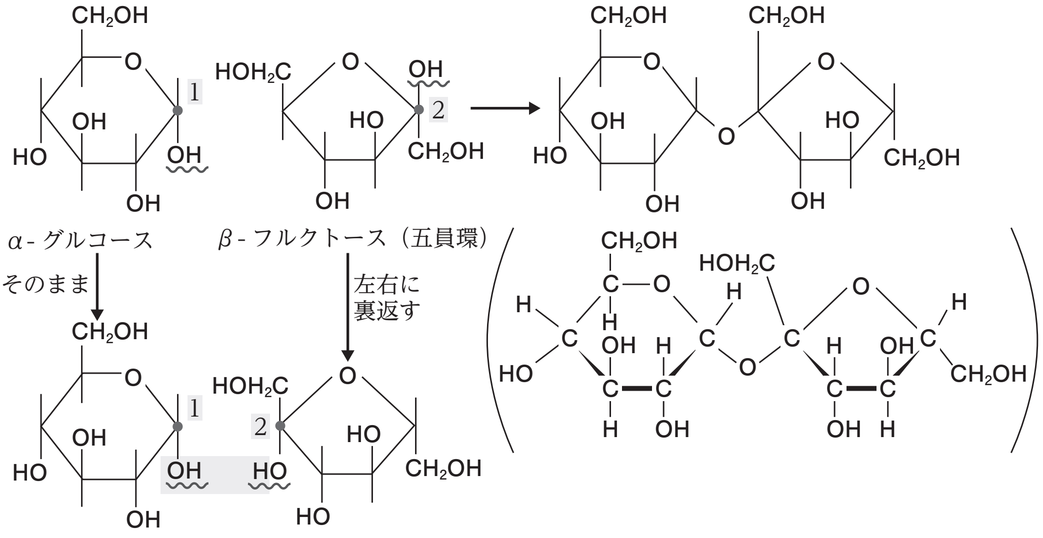
α-グルコース＋β-フルクトース（五員環）　（1,2 結合）

## ◆ スクロース　重要

スクロースは，α-グルコースとβ-フルクトース(五員環)が 1,2 結合した二糖である。1 位の−OH と 2 位の−OH が離れており，そのまま脱水縮合させることはできない。




よって，β-フルクトース(五員環)の 2 位の−OH をα-グルコースの 1 位の−OH の隣に移動させる必要がある。



スクロースにはヘミアセタール構造がないので，水中で開環することはない。すなわち，水溶液が還元性を示さない二糖である。

加水分解酵素は，**インベルターゼ**(**スクラーゼ**)である。スクロースをインベルターゼ(スクラーゼ)を用いて加水分解すると，グルコースとフルクトースの等量混合物が得られる。これを，転化糖という。

**まとめ**

スクロースは，(　　　　　　)と(　　　　　　)が(　　)位と(　　)位で結合した二糖である。

## Chapter4　セロビオース

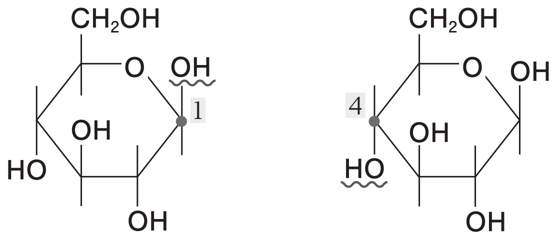
**要点**

セロビオース

$\beta$-グルコース＋$\alpha$-または$\beta$-グルコース　(1,4 結合)

### ◆ セロビオース　重要

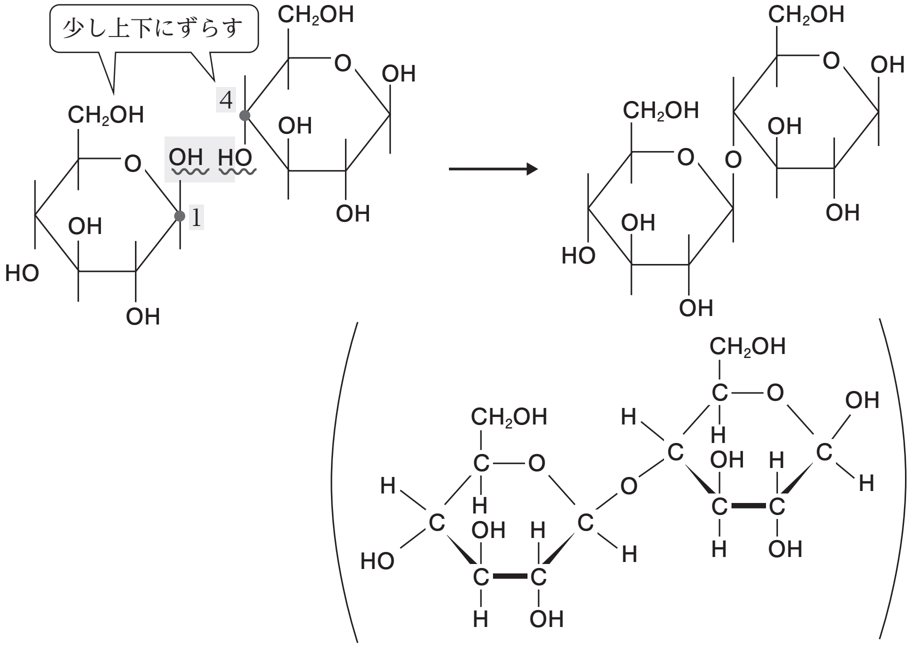
セロビオースは，$\beta$-グルコースと$\alpha$-または$\beta$-グルコースが 1,4 結合した二糖である。1 位の－OH と 4 位の－OH が隣り合わせではないため，そのまま脱水縮合させることはできない。



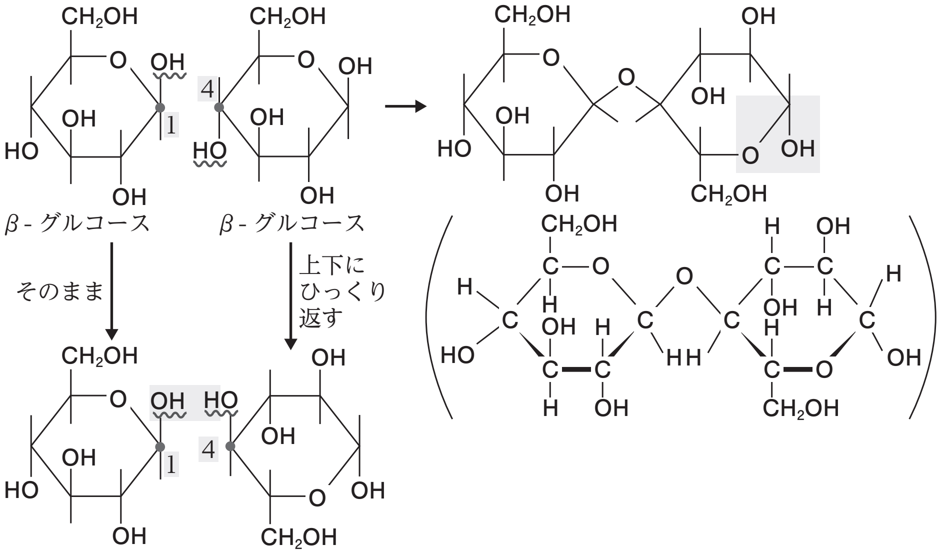

$\beta$-グルコース　　$\beta$-グルコース

よって，$\beta$-グルコースの 4 位の－OH をもう一つの$\beta$-グルコースの 1 位の－OH の隣に移動させる必要がある。このとき，方法が 2 つある。

1つ目：上下にずらす




2つ目：一つを上下にひっくり返す




セロビオースにはヘミアセタール構造が存在するため，水中で開環し，ホルミル基が生じる。よって，セロビオースは水溶液が還元性を示す二糖である。

まとめ

セロビオースは,（　　　　　　　　　）と$\alpha$-または$\beta$-グルコースが（　　　）位と（　　　）位で結合した二糖である。

# Chapter5　演習問題

**問**　次の(1)~(3)の二糖類を構成する単糖と結合部位を答えよ。また，水溶液が還元性を示さないものを，一つ記号で答えよ。

(1)　マルトース

(2)　スクロース

(3)　セロビオース

# 第 22 講　PART2　確認問題

問 1　単糖 2 つが脱水縮合し，グリコシド結合でつながったものを二糖類という。主な二糖類は分子式（　ア　）で表され，(a)マルトースや (b)スクロース，(c)セロビオースなどが存在する。マルトース，スクロース，セロビオースのうち，インベルターゼで加水分解されるものは（　イ　）で，水溶液が還元性を示さないものは（　ウ　）である。

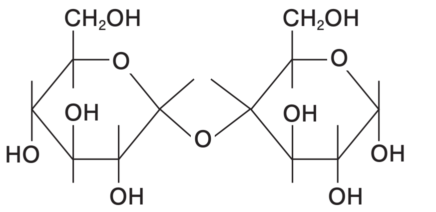
(1)　文中の（　ア　）に当てはまる分子式として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

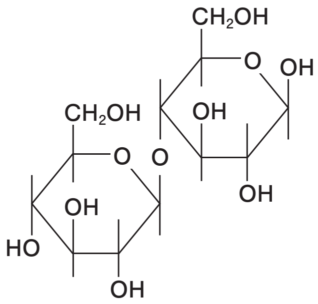
① $C_{12}H_{20}O_{10}$　　② $C_{12}H_{22}O_{11}$
③ $C_{12}H_{24}O_{12}$　　④ $C_{12}H_{26}O_{13}$

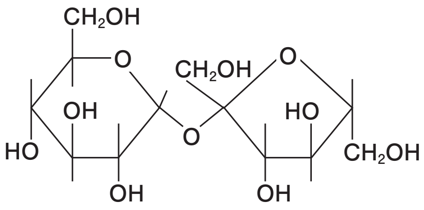
(2)　文中の下線部 (a) について，マルトースの構成単糖として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $\alpha$-グルコースと $\alpha$-グルコース
② $\beta$-グルコースと $\beta$-グルコース
③ $\alpha$-グルコースと $\beta$-フルクトース(五員環)
④ $\alpha$-グルコースと $\beta$-フルクトース(六員環)

(3)　文中の下線部 (b) について，スクロースの構造として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①



②



③



(4)　文中の下線部 (c) について，セロビオースの構成単糖の結合部位として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　1,2 結合　　②　1,4 結合　　③　1,6 結合

(5)　文中の（　イ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　マルトース　　②　スクロース

③　セロビオース

(6)　文中の（　ウ　）に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　マルトース　　②　スクロース

③　セロビオース

# PART3　多糖類(デンプン)

目標　・デンプンについて学ぼう！

## Chapter1　多糖類の基本事項

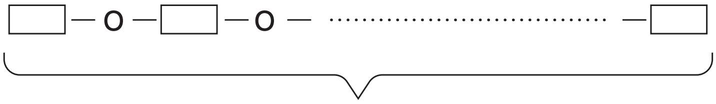
**要点**

多糖類の基本事項

多数のグルコースがグリコシド結合でつながった高分子化合物で，分子式 $(C_6H_{10}O_5)_n$，分子量 $162n$。

### ◆ 多糖類　重要

多糖類とは，多数のグルコース(分子式 $C_6H_{12}O_6$・分子量 180)が脱水縮合し，グリコシド結合でつながった高分子化合物である。



グルコース ×$n$ 個

よって，分子式は$(C_6H_{12}O_6-H_2O)\times n=(C_6H_{10}O_5)_n$，分子量は$(180-18)\times n=162n$である。

このように，多糖類は分子量が大きいため，末端の $H_2O$ は無視する。

また，多糖類の末端にはヘミアセタール構造があるが，生じるホルミル基の濃度が小さすぎるため，フェーリング液を加えても $Cu_2O$ の赤色沈殿は得られない。すなわち，還元性はない。

**まとめ**

多糖類の分子式は（　　　　　　　　），分子量は（　　　　　）である。

また，還元性は（　　　　）。

# Chapter2　デンプン

**要点**

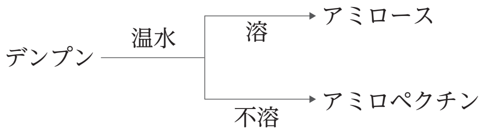
デンプン

$\alpha$-グルコース× $n$ の多糖類。

アミロース(1,4 結合)とアミロペクチン(1,4 結合＋1,6 結合)からなる。

## ◆ デンプンの構成成分　重要

デンプンは，温水に入れると溶解するアミロースと，溶解しないアミロペクチンの混合物である。



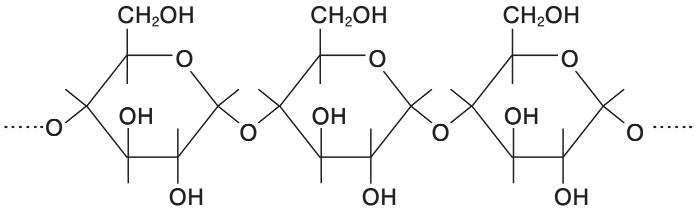

加水分解酵素は，**アミラーゼ**である。部分的に加水分解が進んだものを，**デキストリン**という。

デンプン —アミラーゼ→ デキストリン —アミラーゼ→ マルトース —マルターゼ→ グルコース

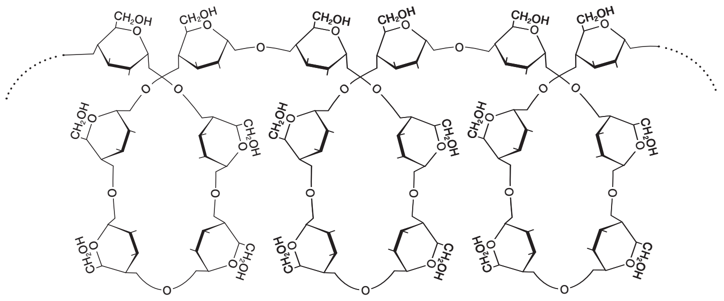
デンプン —希酸→ グルコース

## ◆ アミロース　重要

アミロースはα-グルコースが1,4結合のみでつながったもので，直鎖のらせん構造である。



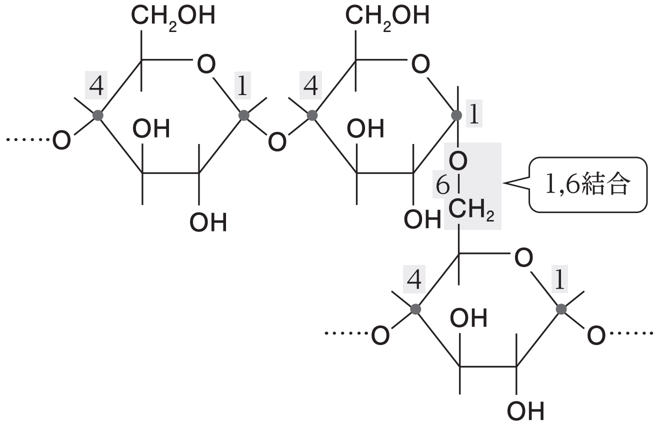

本当は →



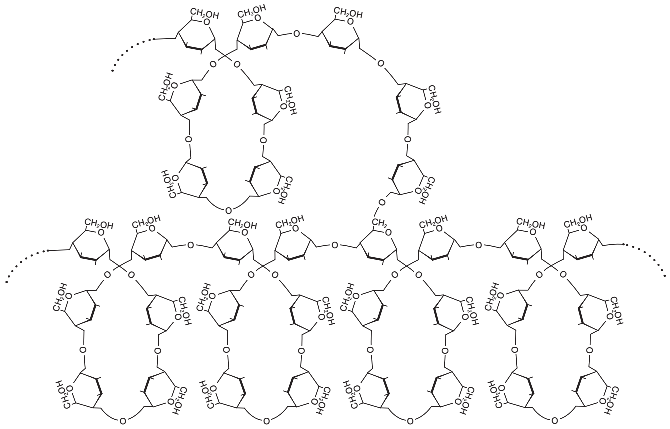
アミロースは枝分かれをもたないので，アミロペクチンに比べてらせんが長い。

### ◆ アミロペクチン 重要

アミロペクチンはα-グルコースが1,4結合と1,6結合でつながったもので，枝分かれのあるらせん構造である。




本当は→



アミロペクチンは枝分かれをもつので，アミロースに比べてらせんが短い。

**まとめ**

デンプンは，（　　　　　　　　）と（　　　　　　　　　　）の混合物である。

## Chapter3　ヨウ素デンプン反応

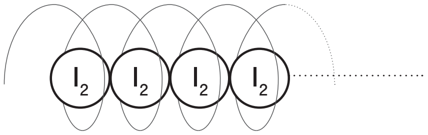
**要点**

ヨウ素デンプン反応

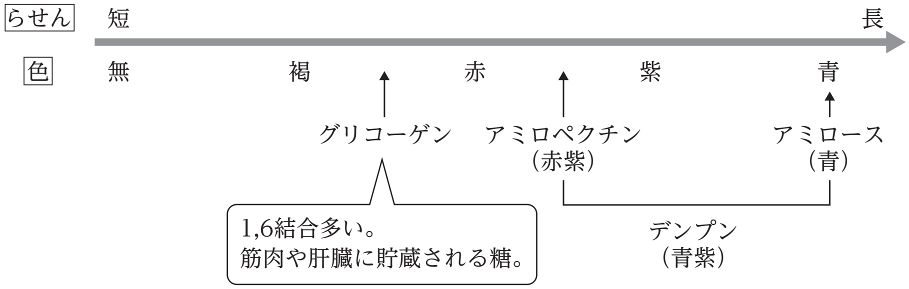
α-グルコースの1,4結合でできたらせん構造に，$I_2$ 分子が取り込まれて呈色する反応。

### ◆ ヨウ素デンプン反応　重要

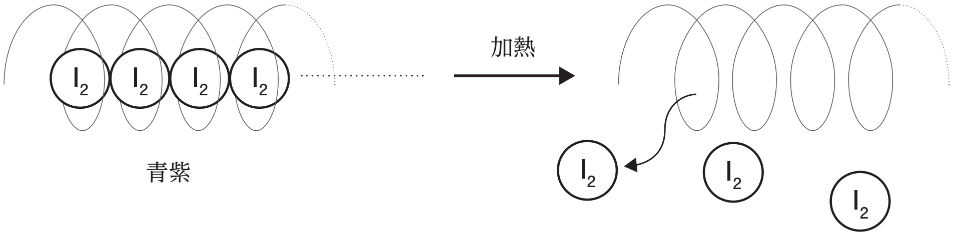
ヨウ素デンプン反応とは，α-グルコースの 1,4 結合でできたらせん構造に，$I_2$ 分子が取り込まれて呈色する反応である。



らせんが長いほどたくさんの $I_2$ 分子が取り込まれるため，らせんの長さでヨウ素デンプン反応の色が変わる。




また，加熱するとヨウ素デンプン反応の呈色はなくなるが，冷却すると元の呈色が見られる。




**まとめ**

ヨウ素デンプン反応は，α-グルコースの 1,4 結合からなる（　　　　　）構造に，ヨウ素分子が取り込まれて呈色する。

## Chapter4　演習問題

問　デンプン 8.1g を完全に加水分解したときに生成するグルコースは何 g か。有効数字 2 桁で答えよ。

# 第22講 PART3 確認問題

問1 次の問いに答えよ。

(1) 多糖類にフェーリング液を加えた場合，どのような変化が見られるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黒色沈殿が生じる。 ② 赤色沈殿が生じる。
③ 黄色沈殿が生じる。 ④ 変化しない。

(2) デンプンはアミロースとアミロペクチンの混合物であるが，アミロースとアミロペクチンのうち，枝分かれをもつものはどちらか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

① アミロース ② アミロペクチン

(3) ヨウ素デンプン反応で青色を呈するものとして最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① アミロース ② アミロペクチン
③ グリコーゲン

(4) ヨウ素デンプン反応で呈色した状態で加熱すると，色はどのように変化するか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

① 濃くなる。 ② 消える。
③ 変化しない。

⑸ デンプン 27g を完全に加水分解したときに生成するグルコースは何 g か。最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

① 24g ② 27g

③ 30g ④ 35g

# PART4　多糖類(セルロース)

目標　・セルロースについて学ぼう！

## Chapter1　セルロース

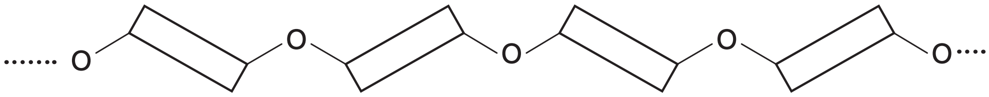
要点

セルロース

$\beta$-グルコース× $n$ の多糖類。1,4 結合のみからなる直線状の高分子。

### ◆ セルロース　重要

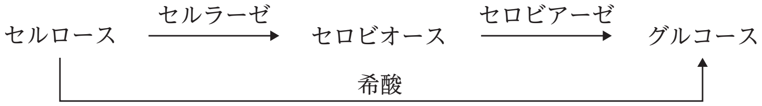
セルロースは$\beta$-グルコースが 1,4 結合のみでつながったもので，直線状の構造である。らせん構造ではないため，ヨウ素デンプン反応を示さない。




直線状なので，分子同士が接近できる。そして，分子間に水素結合を多数形成するため，分子同士が強く結びつき，非常に強くて安定している。

これにより，セルロースは冷水はもちろん，熱水にも有機溶媒にも溶解しない。

また，セルロースの加水分解酵素は，**セルラーゼ**である。




まとめ

セルロースは，（　　　　　　　　）の 1,4 結合によってできる（　　　　）状の構造の高分子である。

# Chapter2　再生繊維

**要点**

再生繊維

繊維の短いセルロースを再生し，繊維の長いセルロースに変化させたもの。

## ◆ 再生繊維　重要

木材のような繊維の短いセルロースを，強塩基の溶媒に溶かし，そのあと，酸の溶液中に押し出すことで，長い繊維に再生させたものを**再生繊維(レーヨン)**という。

セルロース $\xrightarrow{\text{強塩基}}$ 溶液 $\xrightarrow{\text{希酸}}$ 再生繊維

(セルロース：繊維㊖　再生繊維：繊維㊣)

再生繊維は，長さが変わるだけでセルロースの構造自体は変化していない。

## ◆ 銅アンモニアレーヨン　重要

使用する強塩基は，**シュバイツァー試薬**(水酸化銅(Ⅱ)を濃アンモニア水に溶解させたもの)である。

セルロースをシュバイツァー試薬に溶解させると，粘性のあるコロイド溶液に変化する。この溶液を注射器などで希硫酸中に押し出すと，セルロースが再生する。

セルロース $\xrightarrow{\text{シュバイツァー試薬}}$ 溶液 $\xrightarrow{\text{希 } H_2SO_4aq}$ 銅アンモニアレーヨン

## ◆ ビスコースレーヨン

セルロースを濃水酸化ナトリウム水溶液で処理し(アルカリセルロース)，$CS_2$ を加え(セルロースキサントゲン酸ナトリウム)，希水酸化ナトリウム水溶液に溶解させると，コロイド溶液(ビスコース)が生成する。

この溶液を注射器などで希硫酸中に押し出すと，セルロースが再生する。

セルロース $\xrightarrow{\text{濃 NaOHaq}}$ アルカリセルロース $\xrightarrow{CS_2}$ セルロースキサントゲン酸ナトリウム

$\xrightarrow{\text{希 NaOHaq}}$ ビスコース $\xrightarrow{H_2SO_4aq}$ ビスコースレーヨン

まとめ

セルロースをシュバイツァー試薬に溶解させ，その溶液を希酸の中に押し出して再生したものを，（　　　　　　　　　　）という。

# Chapter3　半合成繊維

要点

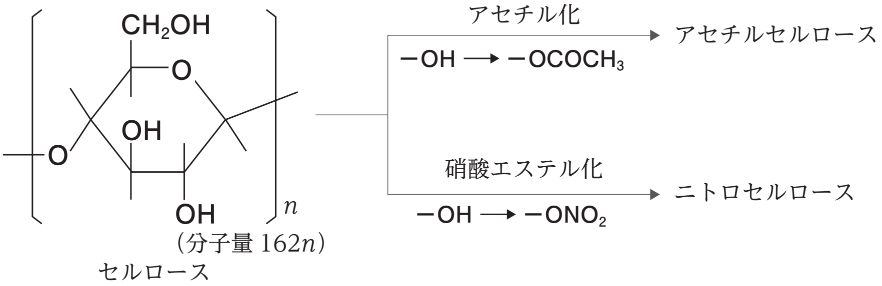
半合成繊維

化学反応を利用し，セルロースの－OH を極性の小さい形に変化させ，有機溶媒に溶解させてつくる繊維。

## ◆ セルロースの利用 重要

化学反応を利用してセルロースの－OH を極性の小さい形に変化させ，有機溶媒に溶解させてつくる繊維を，**半合成繊維**という。

セルロースの繰り返し単位の中には－OH が３つあるため，最大３つの－OH を違う官能基に変化させる。




## ◆ アセチルセルロース 重要

セルロースの繰り返しの単位の中の３つの－OH のうち，いくつかをアセチル化したものを，総称してアセチルセルロースという。代表的なものに，**アセテート繊維**がある。

### ◆ ニトロセルロース　重要

セルロースの繰り返しの単位の中の３つの－OH のうち，いくつかを硝酸エステル化したものを，総称してニトロセルロースという。代表的なものに，**コロジオン**(この溶液を乾燥させて得られるのが半透膜)がある。

まとめ

化学反応を利用してセルロースの－OH を極性の小さい形に変化させ，有機溶媒に溶解させてつくる繊維を，(　　　　　　　　) という。

## Chapter4　演習問題

問　セルロース 8.1g を，セルラーゼを用いて完全に加水分解したときに生成するセロビオースは何 g か。有効数字２桁で答えよ。

# 第 22 講　PART4　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　セルロースはヨウ素デンプン反応を示すか。適当なものを，次の①，②のうちから一つ選べ。

①　示す　　②　示さない

(2)　セルロースをシュバイツァー試薬に溶解させ，その溶液を希酸の中に押し出して再生したものを何というか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　アセチルセルロース　　②　ニトロセルロース

③　ビスコースレーヨン　　④　銅アンモニアレーヨン

(3)　コロジオンは次の①～④のどれに分類されるか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　アセチルセルロース　　②　ニトロセルロース

③　ビスコースレーヨン　　④　銅アンモニアレーヨン

(4)　セルロース 34.2g を，セルラーゼを用いて加水分解したときに生成するセロビオースは何 g か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　8.10g　　②　17.1g

③　36.1g　　④　72.2g

< Note >

# 第23講　タンパク質
# PART1　アミノ酸

目標　・アミノ酸とは何かを知り，その性質を学ぼう！

## Chapter1　アミノ酸の基本事項

**要点**

アミノ酸の基本事項

・１つの分子中に$-NH_2$と$-COOH$の両方をもつ化合物。

・タンパク質の構成アミノ酸は，２つの官能基が同一のC原子に結合した$\alpha$-アミノ酸。

### ◆ アミノ酸　重要

１つの分子中に$-NH_2$と$-COOH$の両方をもつ化合物を**アミノ酸**といい，とくにこの２つの官能基が同じC原子に結合しているアミノ酸を，$\alpha$-アミノ酸(以下，本講座では単にアミノ酸と書いた場合も，$\alpha$-アミノ酸のことを指す)という。タンパク質は，$\alpha$-アミノ酸によって構成されている。

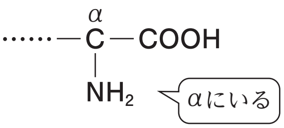
$\alpha$-アミノ酸の「$\alpha$」は，$-NH_2$の位置を表している。$-COOH$が結合しているC原子を$\alpha$位，その隣のC原子は$\beta$位，その隣は$\gamma$位……といった具合である。

$$\cdots\cdots-\overset{\gamma}{C}-\overset{\beta}{C}-\overset{\alpha}{C}-COOH$$

よって，$\alpha$-アミノ酸とは

「$\alpha$位のC原子に$-NH_2$が結合しているアミノ酸」

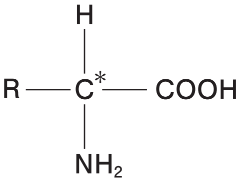
という意味である。




### ◆ アミノ酸の側鎖　重要

アミノ酸は右のような構造式で表すことができ，Rをアミノ酸の側鎖という。

側鎖がH原子のグリシン以外は，不斉炭素原子をもつ。

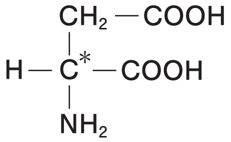


## ◆ アミノ酸の分類 重要

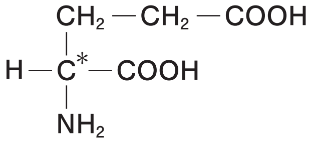
アミノ酸は，以下の 3 種類に大別できる。

・側鎖に－COOH あり → **酸性アミノ酸**

例



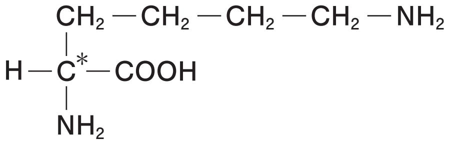
アスパラギン酸(Asp)



グルタミン酸(Glu)

・側鎖に$-NH_2$あり → **塩基性アミノ酸**

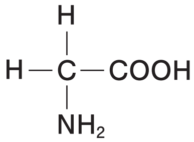
例



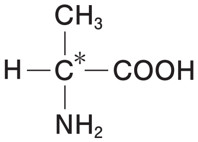
リシン(Lys)

・側鎖に－COOH も$-NH_2$もなし → **中性アミノ酸**

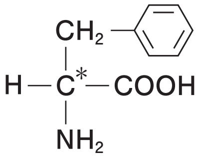
例



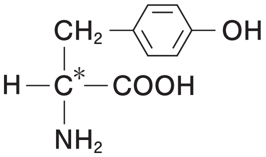
グリシン(Gly)



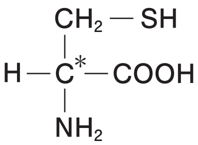
アラニン(Ala)



フェニルアラニン(Phe)



チロシン(Tyr)



システイン(Cys)

**まとめ**

アミノ酸の分類
・側鎖に－COOH あり → (　　　　　　) アミノ酸
・側鎖に$-NH_2$ あり → (　　　　　　) アミノ酸
・側鎖に－COOH も$-NH_2$ もなし → (　　　　　　) アミノ酸

# Chapter2　アミノ酸の結晶

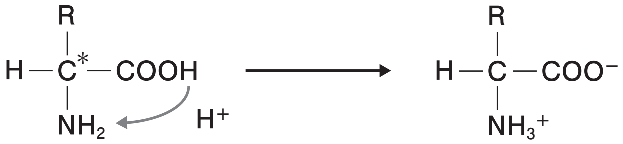
**要点**

アミノ酸の結晶

アミノ酸の結晶は，イオン結晶である。

### ◆ 双性イオン　重要

アミノ酸の分子には，酸性の－COOH と塩基性の－$NH_2$ が共存しているため，分子内で反応し，塩となっている。




この塩のように，同一分子内に正電荷と負電荷をあわせもつイオンを**双性イオン**という。

### ◆ アミノ酸の結晶　重要

アミノ酸の結晶は，双性イオンからなるイオン結晶である。よって，次のような性質をもつ。

・**水溶性**

弱酸の－COOH と弱塩基の－$NH_2$ をもつため，水中で電離平衡の状態になる（→ Chapter 3）。

・**一般的な有機化合物に比べて融点が高い**

一般的な有機化合物は，分子結晶である。よって，イオン結晶のアミノ酸は，一般的な有機化合物に比べて融点が高い。

**まとめ**

アミノ酸の結晶は，（　　　　　　　　）からなるイオン結晶である。よって，一般的な有機化合物に比べて融点が（　　　　）。

## Chapter3　アミノ酸の水中での平衡

**要点**

アミノ酸の水中での平衡

アミノ酸の水溶液は，陽イオン，双性イオン，陰イオンが共存する電離平衡の状態である。

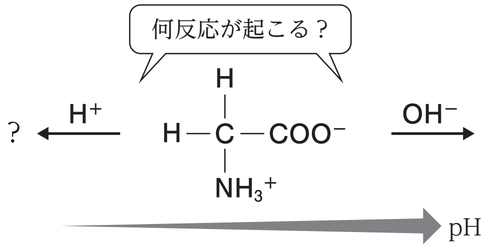
## ◆ アミノ酸の水中での平衡　重要

弱酸や弱塩基は，水中で平衡状態になる。（→第８講 PART ５）

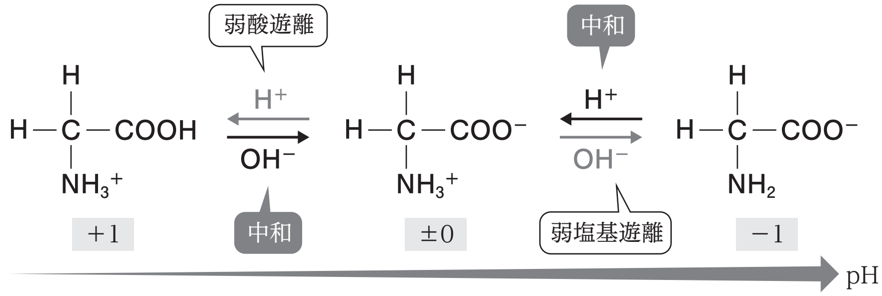
アミノ酸分子中に存在する酸（$-COOH$）と塩基（$-NH_2$）はそれぞれ弱酸，弱塩基なので，水中で電離平衡の状態になる。

アミノ酸の電離平衡を，手を動かして書いてみよう。

書くときのポイントは「双性イオンを書き，左右に広げていく」である。何反応が起こるかを意識しよう。




**例**　グリシン (Gly)




この平衡より，アミノ酸は pH を小さくすると正に帯電し，pH を大きくすると負に帯電することがわかる。

**まとめ**

アミノ酸は水中で電離平衡の状態になっており，

（　　　　　　　）・（　　　　　　　　　）・（　　　　　　　）が共存している。

# Chapter4　等電点

**要点**

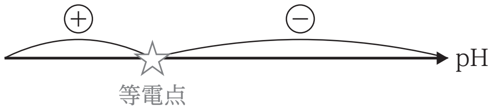
**等電点**

アミノ酸の電荷が０になる pH。ほとんどが双性イオンになっている。

## ◆ 等電点　重要

アミノ酸の水中での平衡から，アミノ酸は pH を小さくすると正に帯電し，pH を大きくすると負に帯電することがわかった。その中で，電荷が 0 になる pH がある。それが**等電点**である。

アミノ酸の電荷について考えるときは，以下のような図を書いて考えるとよい。



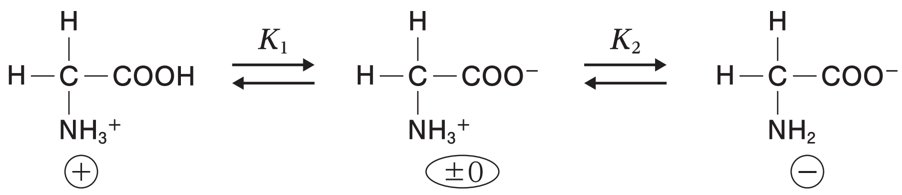

また，等電点には，以下のような特徴がある。

・アミノ酸のほとんどが双性イオンで存在している。

・[陽イオンの正電荷]＝[陰イオンの負電荷]が成立している。

## ◆ 等電点のpHの求め方　重要

等電点の pH を求める式を，グリシンで導いてみよう。




陽イオンを ⊕ ，双性イオンを (±0) ，陰イオンを ⊖ とする。

$$\oplus \underset{}{\overset{K_1}{\rightleftarrows}} (\pm 0) + \mathrm{H^+} \qquad K_1 = \frac{[(\pm 0)][\mathrm{H^+}]}{[\oplus]}$$

$$(\pm 0) \underset{}{\overset{K_2}{\rightleftarrows}} \ominus + \mathrm{H^+} \qquad K_2 = \frac{[\ominus][\mathrm{H^+}]}{[(\pm 0)]}$$

等電点では $[\oplus]=[\ominus]$ より

$$K_1 \cdot K_2 = \frac{[(\pm 0)][\mathrm{H^+}]}{[\oplus]} \cdot \frac{[\ominus][\mathrm{H^+}]}{[(\pm 0)]} = [\mathrm{H^+}]^2$$

$$\boxed{[\mathrm{H^+}] = \sqrt{K_1 \cdot K_2}}$$

求めた $[\mathrm{H^+}]$ を $\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H^+}]$ に代入して得られる pH が，等電点の pH である。

**まとめ**

等電点の水素イオンのモル濃度は，次の式で導くことができる。

$[H^+]$ = (　　　　　　　　)

# Chapter5　検出法

**要点**

**アミノ酸の検出**

ニンヒドリン水溶液を加えて温めると，赤紫～青紫に呈色(ニンヒドリン反応)。

## ◆ アミノ酸の検出　重要

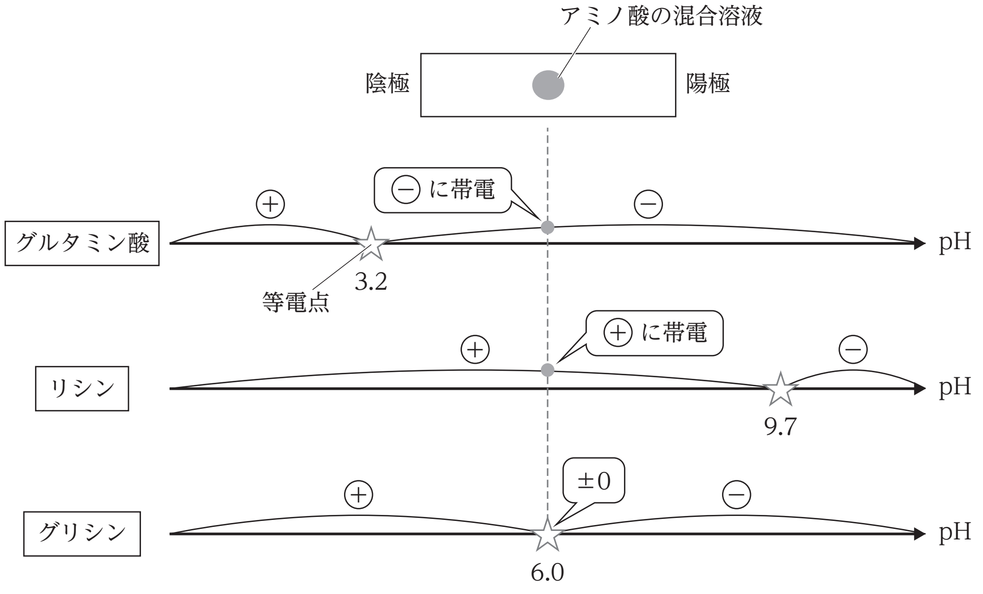
アミノ酸にニンヒドリン水溶液を加えて温めると，赤紫～青紫に呈色する。この反応を，**ニンヒドリン反応**という。

電気泳動の実験などに利用される。

**例**

グルタミン酸(等電点 pH = 3.2)，リシン(等電点 pH = 9.7)，グリシン(等電点 pH = 6.0)の混合溶液を用いて，pH = 6 で電気泳動をおこなった。

→図のように，pH = 6 ではグルタミン酸は負，リシンは正に帯電し，グリシンは電荷 0 である。

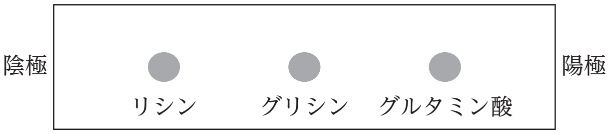


以上より，各アミノ酸は次のように移動する。

・グルタミン酸→陽極側へ移動

・リシン→陰極側へ移動

・グリシン→移動しない



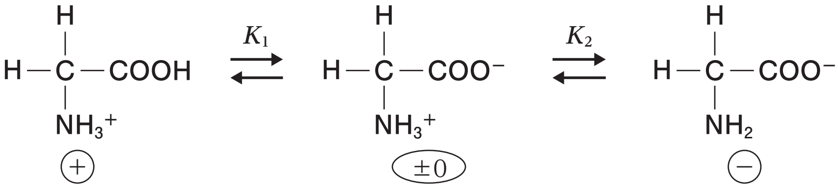

このことは，電気泳動後，ろ紙にニンヒドリン溶液を噴霧して温めたとき，呈色する場所で確認できる。

**まとめ**

アミノ酸の検出には，（　　　　　　　　　　）反応が利用される。

## Chapter6　演習問題

**問**　グリシンは，水溶液中で次の図のような 3 つの構造が平衡状態で存在している。グリシンの電離定数 $K_1$，$K_2$ はそれぞれ，$4.0 \times 10^{-3}$(mol/L)，$2.5 \times 10^{-10}$(mol/L) である。グリシンの等電点の pH を求めよ。



< Note >

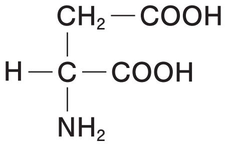
# 第23講　PART1　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　不斉炭素原子をもたないアミノ酸として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　フェニルアラニン　　②　リシン
③　グリシン　　④　チロシン

(2)　次のアミノ酸は，酸性アミノ酸，塩基性アミノ酸，中性アミノ酸のどれに該当するか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。




①　酸性アミノ酸　　②　塩基性アミノ酸
③　中性アミノ酸

(3)　アミノ酸の結晶は，どの結晶に該当するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　分子結晶　　②　共有結合の結晶
③　金属結晶　　④　イオン結晶

(4)　グルタミン酸（等電点 pH = 3.2）の水溶液を pH = 5 に調整すると，グルタミン酸の電荷はどのようになるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　正に帯電する。　　②　負に帯電する。
③　電荷が 0 になる。

(5) アラニンのカルボキシ基およびアミノ基の電離定数 $K_1$, $K_2$ はそれぞれ，$5.0 \times 10^{-3}$(mol/L), $2.0 \times 10^{-10}$(mol/L) である。アラニンの等電点の pH として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 4.0　② 5.0
③ 6.0　④ 7.0

(6) アミノ酸にニンヒドリン水溶液を加えて温めると，何色を呈色するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 黄緑～緑色　② 赤紫～青紫色
③ 橙赤～黄色　④ 濃青～黒色

# PART2　タンパク質

目標　・タンパク質の構造や検出法を，しっかりと押さえよう！

## Chapter1　ペプチド

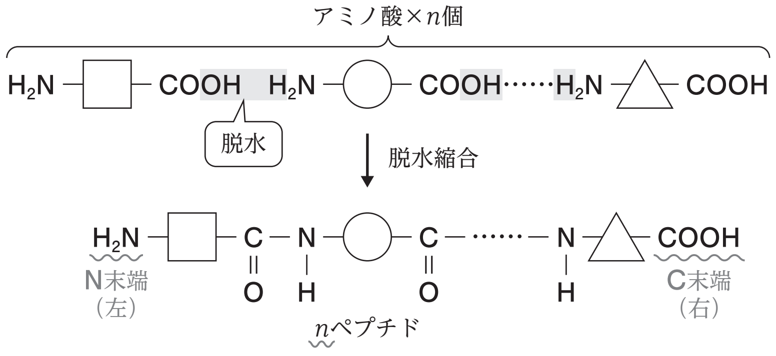
要点

ペプチド

2つ以上のアミノ酸が脱水縮合し，ペプチド結合でつながっているもの。

### ◆ ペプチド　重要

2つ以上のアミノ酸が脱水縮合し，**ペプチド結合**(−CONH−)でつながっているものを総称して，**ペプチド**という。

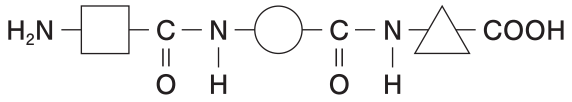



ペプチドの$-NH_2$の末端を「N末端」，−COOHの末端を「C末端」という。

ペプチドを表記するときは，通常，N末端は左，C末端は右に書く。

また，ペプチドの名称は「*n*ペプチド」となる。*n*は，構成しているアミノ酸の数である。

**例**　アミノ酸3つ → トリペプチド




まとめ

ペプチドの名称「*n*ペプチド」の「*n*」は，（　　　　　　　　　　　　）の数を表している。

# Chapter2　タンパク質の構造

要点

タンパク質の構造

タンパク質の構造は，一次構造から四次構造に分けてとらえる。

## ◆ タンパク質 重要

タンパク質は，約 20 種類のアミノ酸が多数縮合したポリペプチドである。

## ◆ タンパク質の構造 重要

タンパク質の構造は，非常に複雑である。そのため，一次構造から四次構造に分けてとらえる。ここでは，特に重要な一次構造から三次構造を確認していく。

一次構造　アミノ酸の配列順序

一次構造を保持しているのは，**ペプチド結合**である。配列順序は，DNA の遺伝情報で決まっている。

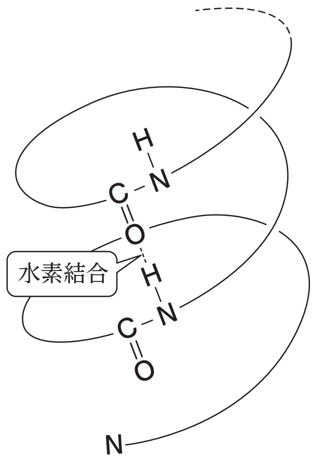
例

N − Gly − Lys − Ala − …… − Phe − C

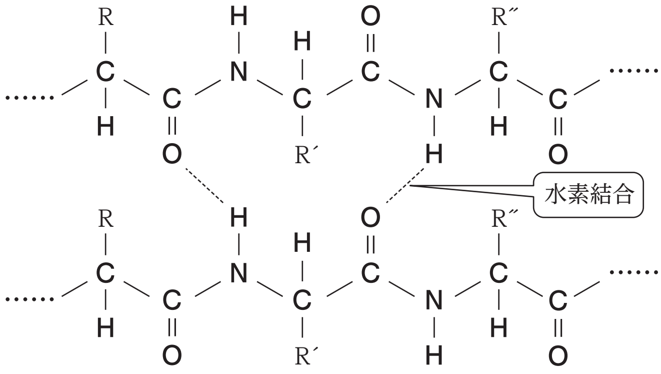
二次構造　規則的な立体構造

二次構造を保持しているのは，**水素結合**である。二次構造には，α－ヘリックス構造やβ－シート構造がある。

・**α−ヘリックス構造：** らせん状の構造で，らせんの輪が水素結合で結ばれている。



・**β-シート構造**：平行に並んだポリペプチド鎖の間で水素結合が形成される。




三次構造　<u>不規則な立体構造</u>

三次構造を保持しているのは，**側鎖間の結合**である。システインの側鎖間に形成される**ジスルフィド結合**(−S−S−)や，酸性アミノ酸と塩基性アミノ酸の側鎖間に形成されるイオン結合など，さまざまである。

まとめ

タンパク質の一次構造を保持しているのは（　　　　　　　　）結合，二次構造を保持しているのは（　　　　　　　　）結合，三次構造を保持しているのは，システインの側鎖間にできる（　　　　　　　　）結合のような側鎖間の結合である。

## Chapter3　検出法

要点

<u>タンパク質の検出</u>

ビウレット反応：トリペプチド以上で陽性。

キサントプロテイン反応：側鎖にベンゼン環をもつアミノ酸を含むときに陽性。

硫黄原子を検出する反応：側鎖に S 原子をもつアミノ酸を含むときに陽性。

### ◆ ビウレット反応 重要

反応：水酸化ナトリウム水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えると赤紫色に呈色

原因：ペプチド結合(ただし，トリペプチド以上)

### ◆ キサントプロテイン反応 重要

反応：濃硝酸を加えて加熱すると黄色，その後塩基性にすると橙黄色に変化

原因：ベンゼン環のニトロ化

### ◆ 硫黄原子を検出する反応 重要

反応：水酸化ナトリウム水溶液を加えて加熱したあと，酢酸鉛(Ⅱ)水溶液を加えると $PbS$ の黒色沈殿が生成

原因：側鎖の S 原子が $S^{2-}$ に変化し，$Pb^{2+}$ と沈殿生成

**まとめ**

**陽性になる条件**

ビウレット反応：(　　　　　　　　) 以上

キサントプロテイン反応：側鎖に（　　　　　　　）をもつアミノ酸が含まれている

硫黄原子を検出する反応：側鎖に（　　　　　　　）をもつアミノ酸が含まれている

## Chapter4　分類・性質

**要点**

**分類・性質**

・水溶性のタンパク質は，親水コロイド。

・タンパク質に熱，酸や塩基，重金属イオン，アルコールなどを加えると凝固する(タンパク質の変性)。

## ◆ 分類 重要

・成分による分類

**単純タンパク質**：アミノ酸のみからなるタンパク質

**複合タンパク質**：アミノ酸以外の物質も含むタンパク質

色素(色素タンパク質)　例 ヘモグロビン

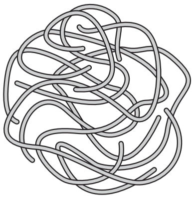
糖(糖タンパク質)　例 ムチン

など

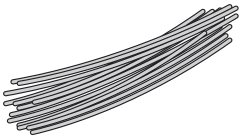
・形状による分類

**球状タンパク質**　：球に近い形状のタンパク質。水に可溶なものが多い。
生命活動の維持に関わる。

**繊維状タンパク質**：繊維状のタンパク質。水に不溶なものが多い。
構造の維持に関わる。



球状タンパク質



繊維状タンパク質

## ◆ 性質 重要

・水溶液

水溶性のタンパク質は，**親水コロイド**である。多量の電解質を加えると沈殿する(**塩析**)。

・タンパク質の変性

タンパク質に熱，酸や塩基，重金属イオン，アルコールなどを加えると立体構造が変化して凝固する。これを，**タンパク質の変性**という。

**まとめ**

タンパク質に（　　　），（　　　　　　），（　　　　　　　　），（　　　　　　）を加えると凝固する。これをタンパク質の（　　　　）という。

# Chapter5　演習問題

**問**　グリシン，アラニン，フェニルアラニンからなるトリペプチドは，立体異性体も含めると何種類が考えられるか。

# 第 23 講 PART2 確認問題

問 1 次の問いに答えよ。

(1) トリペプチドには，何個のペプチド結合が存在するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 1 個　② 2 個

③ 3 個　④ 4 個

(2) タンパク質を構成するアミノ酸は，約何種類あるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 約 20 種類　② 約 40 種類

③ 約 60 種類　④ 約 80 種類

(3) タンパク質の二次構造のうち，$\alpha$-ヘリックス構造はどのような結合によって保持されているか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ペプチド結合　② ジスルフィド結合

③ 水素結合　④ イオン結合

(4) キサントプロテイン反応は，どのようなタンパク質に対して陽性を示すか。最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

① 全てのタンパク質

② トリペプチド以上のタンパク質

③ 側鎖にベンゼン環をもつアミノ酸が含まれたタンパク質

④ 側鎖に硫黄原子をもつアミノ酸が含まれたタンパク質

⑸　タンパク質を形状によって分類すると，球状タンパク質と繊維状タンパク質に分類できるが，このうち，多くが水に可溶なものはどちらか。次の①，②のうちから一つ選べ。

①　球状タンパク質　　　②　繊維状タンパク質

⑹　ビウレット反応が陽性と判断できるとき，水溶液は，何色に呈色するか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　白色　　　②　黒色

③　橙黄色　　　④　赤紫色

# PART3　酵素

目標　・酵素と反応速度について学ぼう！

## Chapter1　酵素反応と温度

要点

酵素反応と温度

酵素には，最適温度(40℃前後)がある。

### ◆ 酵素　重要

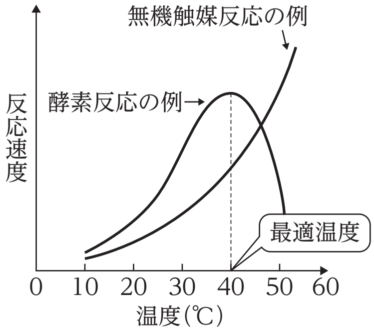
生体内で触媒として作用するタンパク質を，**酵素**という。

通常の化学反応は，活性化エネルギー(触媒の有無)，温度，反応物の濃度に影響を受ける。酵素が関わる反応も基本的に同じだが，酵素はタンパク質なので，タンパク質の性質の影響も受ける。

### ◆ 酵素反応と温度　重要

酵素は，体温付近(40℃前後)で最も活性になる。

酵素の反応速度が最も大きくなる温度を，**最適温度**という。




通常，反応速度は温度が高いほど大きくなるが，酵素はタンパク質なので，最適温度を超えると変性により失活する。

まとめ

酵素は，(　　　)℃前後で最も活性になる。この温度を，(　　　　　　)という。

# Chapter2　酵素反応とpH

要点

酵素反応と pH

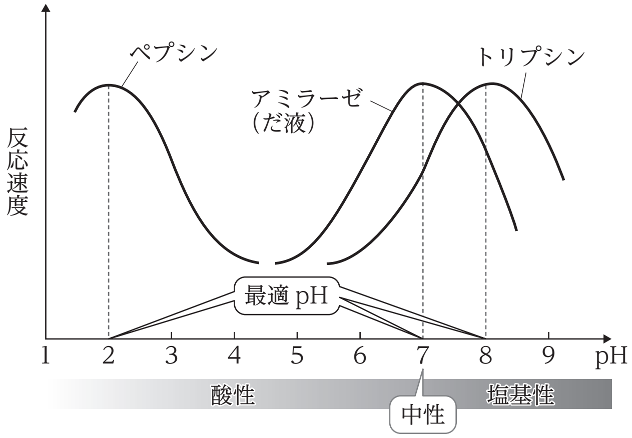
酵素には，最適 pH がある。

### ◆ 酵素反応とpH　重要

酵素には，最も活性になる pH がある。これを，**最適 pH** という。

酵素はタンパク質であるので，酸や塩基を加えると変性により失活する。すなわち，最適 pH より pH を小さく（酸性に）しても，pH を大きく（塩基性に）しても失活するのである。

最適 pH は図のように酵素によって異なるが，中性付近のものが多い。




まとめ

酵素には，最も活性になる pH がある。この pH を，（　　　　　　）という。

# Chapter3　酵素反応と基質の濃度

要点

酵素反応と基質の濃度

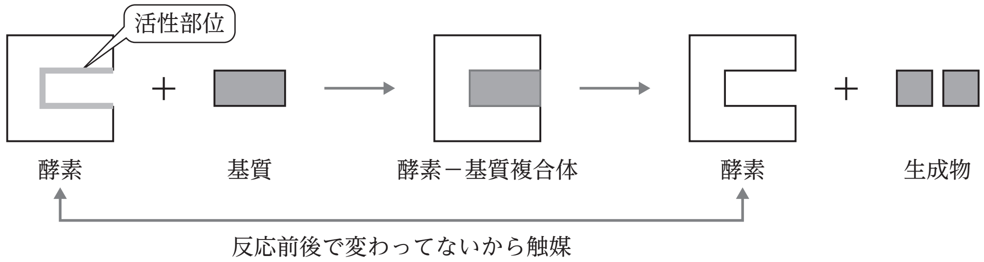
・基質の濃度が小さいとき：反応速度は，基質の濃度に比例

・基質の濃度が大きいとき：反応速度は，基質の濃度によらず一定

## ◆ 基質特異性 重要

酵素には反応を起こす特定の構造があり，**活性部位**(または**活性中心**)という。

酵素は，活性部位に当てはまる構造をもつ特定の相手(**基質**)にしか作用しない。これを，**基質特異性**という。




酵素によっては，**補因子**とよばれる分子や金属イオンがないと活性部位が完成されないものがある。補因子としてはたらく分子を**補酵素**(**コエンザイム**)，金属イオンを**ミネラル**という。

## ◆ 酵素反応と基質の濃度 重要

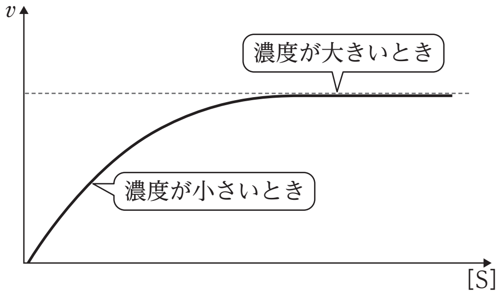
酵素が関わる反応の反応速度 $v$ と基質の濃度[S]は，以下のような関係になる。

・**基質の濃度が小さいとき**

通常の化学反応と同じように，反応速度は基質の濃度に比例する。

・**基質の濃度が大きいとき**

酵素が不足するため，反応速度は一定になる。

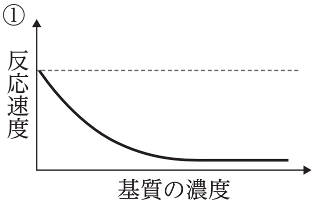


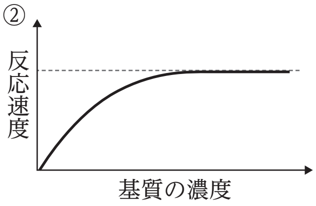

**まとめ**

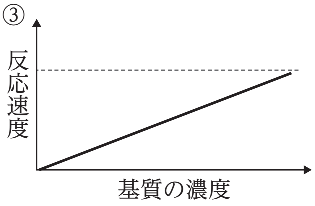
・基質の濃度が小さいとき，酵素反応の反応速度は（　　　　　　　　　　）する。
・基質の濃度が大きいとき，酵素反応の反応速度は（　　　　　　　　）になる。

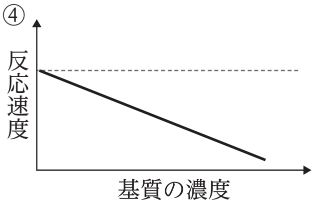
# Chapter4　演習問題

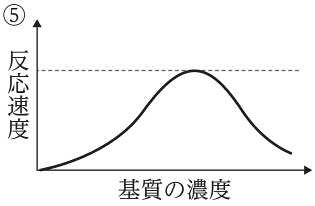
**問**　酵素が関わる反応の反応速度と基質の濃度の関係を表すグラフとして最も適当なものを，次の①～⑤の中から一つ選べ。

①



②



③



④



⑤


# 第 23 講　PART3　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　酵素の最適温度は何℃前後か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　0℃　　②　20℃
③　40℃　　④　80℃

(2)　酵素反応の反応速度は，最適温度を超えるとどのようになるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　大きくなる　　②　小さくなる
③　一定になる

(3)　次の①～③の酵素のうち, 最適 pH が 2 付近のものはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

①　アミラーゼ　　②　ペプシン
③　トリプシン

(4)　基質の濃度が小さいとき，基質の濃度と酵素反応の反応速度はどのような関係にあるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　基質の濃度に比例　　②　基質の濃度に反比例
③　基質の濃度によらず一定

(5)　基質の濃度が大きいとき，基質の濃度と酵素反応の反応速度はどのような関係にあるか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　基質の濃度に比例　　②　基質の濃度に反比例
③　基質の濃度によらず一定

(6) 次の①～④のうち，酵素の性質に該当しないものはどれか。
最も適当なものを，一つ選べ。

① 反応を起こす特定の構造がある。

② 生体内で触媒として作用する。

③ 酸を加えると活性化する。

④ 最適 pH は，中性付近のものが多い。

# 第 24 講　核酸

# PART1　核酸

目標　・核酸とは何かを知り，その性質を学ぼう！

## Chapter1　核酸の基本事項

要点

核酸の基本事項

リン酸・五炭糖・有機塩基からなる，生命活動に大きく関わる高分子化合物。

### ◆ 核酸　重要

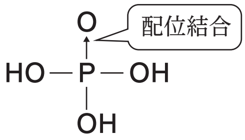
あらゆる生物の中にあり，生命活動に大きく関わる高分子化合物が**核酸**である。

核酸の構成成分は，核酸を加水分解して得られる以下の３つである。

$$核酸 \xrightarrow{加水分解} リン酸 + 五炭糖（ペントース） + 塩基$$

・リン酸 $H_3PO_4$

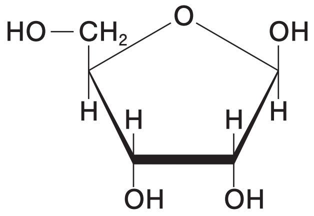
リン酸はオキソ酸の１つで，右のような構造である。



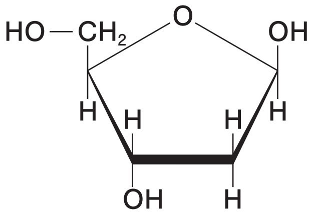

・五炭糖（ペントース）

核酸を構成している糖はＣ原子数５の五炭糖で，ペントースともよばれる。

以下に示すリボースとデオキシリボースの２種類がある。

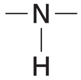


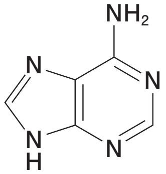
リボース



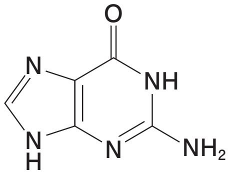
デオキシリボース

・**有機塩基**(以下，塩基)

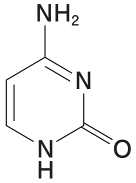
核酸を構成している塩基は，次に示す５種類である。いずれもイミノ基(  )をもつ。



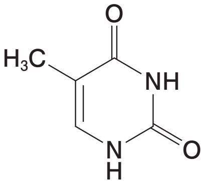
アデニン(A)



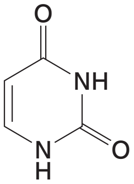
グアニン(G)



シトシン(C)



チミン(T)



ウラシル(U)

**まとめ**

核酸の構成成分は，(　　　　　　)・(　　　　　　)・(　　　　　　) の３つである。

# Chapter2　ヌクレオチド

**要点**

ヌクレオチド

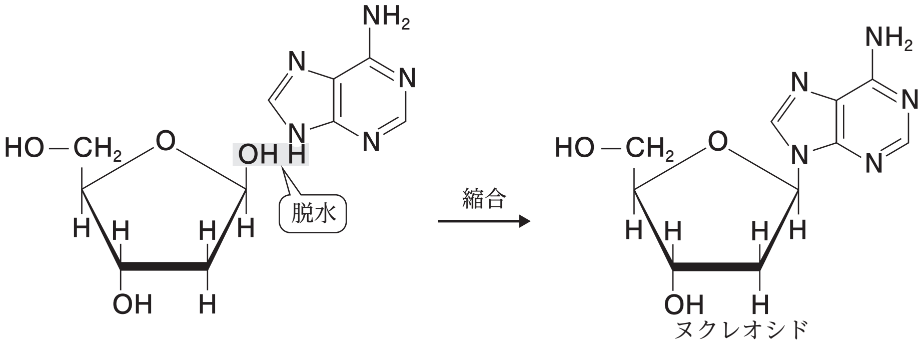
リン酸・五炭糖・塩基からなる核酸のくり返し単位。

## ◆ ヌクレオチド　重要

リン酸・五炭糖・塩基からなる核酸のくり返し単位を，**ヌクレオチド**という。よって，核酸はポリヌクレオチドと表現できる。

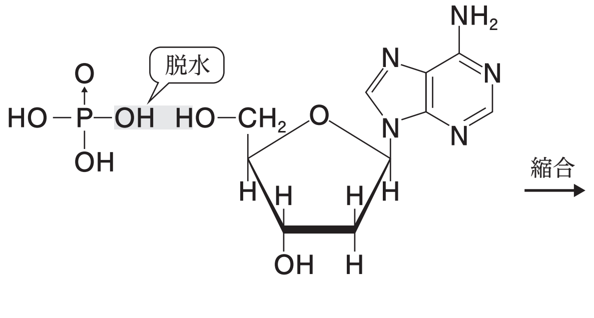
・ヌクレオシド

「五炭糖の１位の－OH」と「塩基のイミノ基」を脱水縮合させてできる縮合体が，ヌクレオシドである。



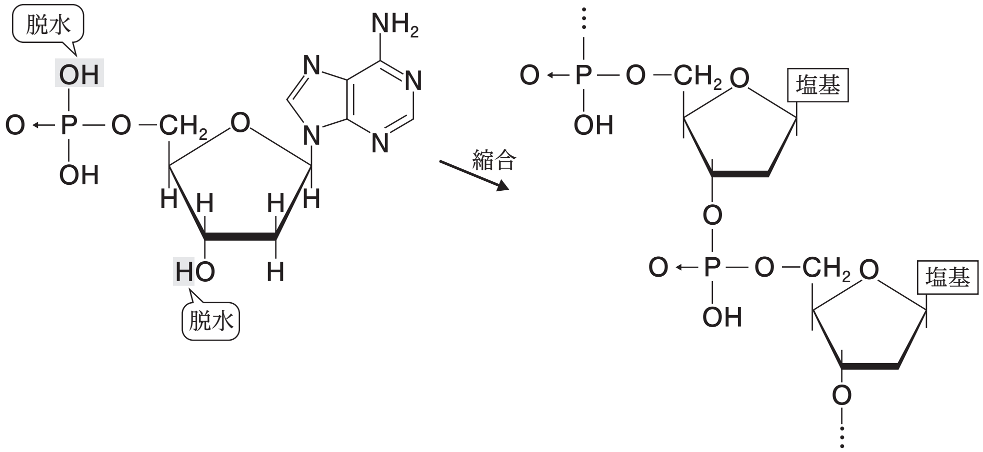
・ヌクレオチド

「ヌクレオシドの五炭糖の5位の−OH」と「リン酸」を脱水縮合させてできる縮合体が，ヌクレオチドである。




・核酸

「ヌクレオチドのリン酸」と「別のヌクレオチドの五炭糖の3位の−OH」を脱水縮合させてできるポリヌクレオチドが，核酸である。




まとめ

リン酸・五炭糖・塩基からなる核酸のくり返し単位を，（　　　　　　　　）という。

# Chapter3 DNA

要点

DNA

・遺伝情報を担う核酸。

・「リン酸」「デオキシリボース」「塩基（A･G･C･T)」で構成される。

## ◆ DNA 重要

遺伝情報を担う核酸が，DNA(**デオキシリボ核酸**)である。

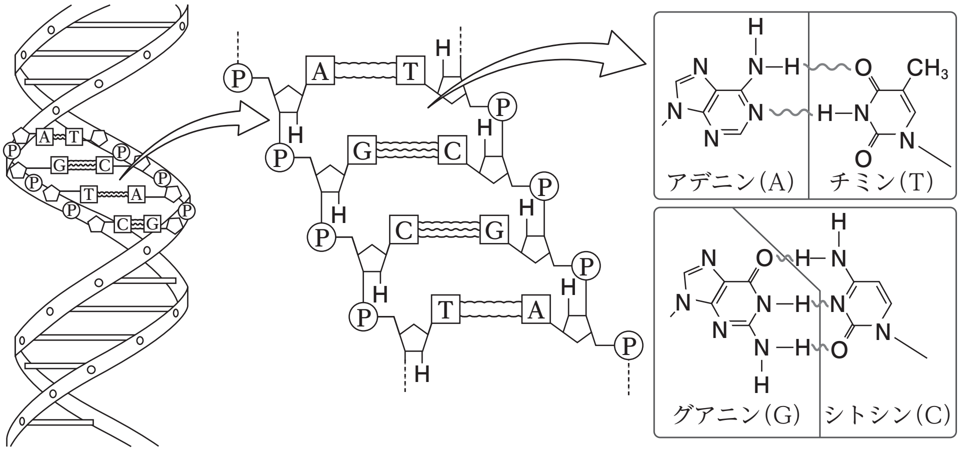
DNA のヌクレオチドは，「**リン酸**」「**デオキシリボース**」「**塩基(A･G･C･T)**」で構成される。

## ◆ DNAの構造 重要

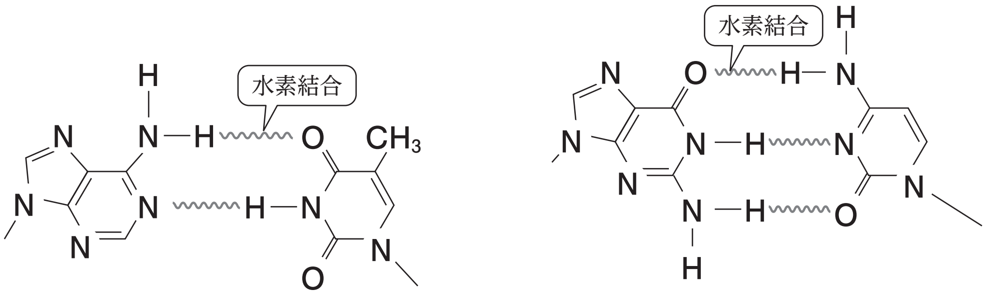
DNA は通常，二重らせん構造になっている。

この二重らせん構造は，塩基間にできる水素結合によって保持されており，水素結合を形成する塩基の組み合わせは「アデニン(A)とチミン(T)」「グアニン(G)とシトシン(C)」の２種類と決まっている。このような関係を，**相補的な関係**という。

以上より，二重らせん構造の DNA 中では，相補的な関係の塩基の物質量は必ず等しい。



塩基間の水素結合の数は，アデニン(A)チミン(T)間が２本，グアニン(G)シトシン(C)間が３本である。




アデニン(A)　チミン(T)　グアニン(G)　シトシン(C)

**まとめ**

DNA は（　　　　　　）を担う核酸で，構成している塩基は，（　　　　　　）・（　　　　　　）・（　　　　　　）・（　　　　　　）の４種である。

# Chapter4　RNA

**要点**

RNA
・タンパク質の合成を担う核酸。
・「リン酸」「リボース」「塩基(A･G･C･U)」で構成される。

## ◆ RNA　重要

タンパク質の合成を担う核酸が，**RNA(リボ核酸)**である。

RNA のヌクレオチドは「**リン酸**」「**リボース**」「**塩基(A･G･C･U)**」で構成される。

タンパク質の合成には，約 20 種類のアミノ酸のデータを管理する必要がある。しかし，RNA の構成塩基は A・G・C・U の４種類しかないため，３つの塩基の並び(コドン)で１つのアミノ酸を表す。

**例** UUU → フェニルアラニン(Phe)

コドンは全部で $4 \times 4 \times 4 = 64$ 種類 つくれるため，約 20 種類のアミノ酸のデータを管理することができる。

**まとめ**

RNA は（　　　　　　　　　　　）を担う核酸で，構成している塩基は
（　　　　　　）・（　　　　　　）・（　　　　　　）・（　　　　　　）の４種である。

## Chapter5　演習問題

**問**　ある DNA の構成塩基を分析したところ，アデニンの物質量が塩基全体の 23% を占めていた。この DNA のグアニンの物質量は，塩基全体の何％を占めるか。

# 第 24 講　PART1　確認問題

問 1　核酸はあらゆる生物の中にあり，生命活動に大きく関わる高分子化合物で，リン酸・(　ア　)・塩基から構成されており，リン酸・(　ア　)・塩基からなる核酸のくり返し単位を，(　イ　) という。

核酸のうち，遺伝情報を担うものが DNA で，DNA はリン酸・デオキシリボース・塩基(A・G・C・T)で構成されている。DNA は，通常，二重らせん構造になっており，この構造は (a) 塩基間にできる水素結合によって保持されている。

(1)　文中の (　ア　) に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　四炭糖　　②　五炭糖
③　六炭糖　　④　七炭糖

(2)　文中の (　イ　) に当てはまる語句として最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。

①　ヌクレオシド　　②　ヌクレオチド
③　ペントース

(3)　文中の下線部 (a) について，アデニン(A)とチミン(T)間の水素結合の数はいくつか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　1 本　　②　2 本
③　3 本　　④　4 本

(4) 核酸のうち，タンパク質の合成を担うものが RNA であるが，RNA を構成する塩基として当てはまらないものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① A　　② G

③ C　　④ T

(5) ある DNA を構成する塩基を分析したところ，アデニンの物質量が全体の 30％を占めていた。この DNA のシトシンの物質量は全体の何％か。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 20%　　② 30%

③ 40%　　④ 60%

# 第 25 講　合成高分子化合物
# PART1　合成高分子化合物①

目標　・付加重合で合成される合成高分子化合物を中心に学ぼう！

## Chapter1　重合形式

要点

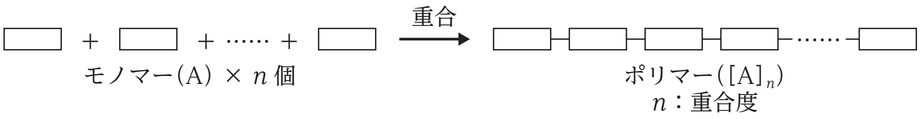
重合形式

付加重合・縮合重合・開環重合などがある。

### ◆ 合成高分子化合物　重要

高分子化合物は低分子の化合物を多数重合させて合成する。

この低分子の化合物を**単量体（モノマー）**，生成する高分子化合物を**重合体（ポリマー）**という。また，重合したモノマーの数を，**重合度**という。




### ◆ 重合形式　重要

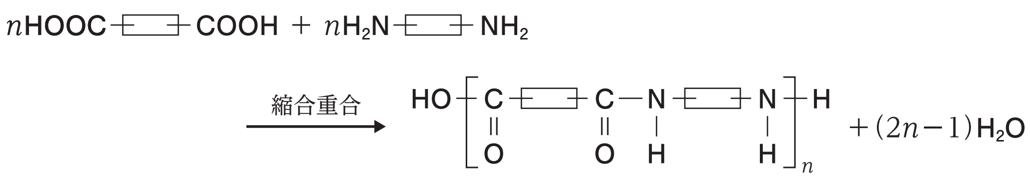
代表的な重合形式には，以下のようなものがある。

付加重合

モノマーが C=C 結合や C≡C 結合などの不飽和結合をもつとき，付加をくり返して重合する。これを，**付加重合**という。

### 縮合重合

水などの小さな分子が外れて，縮合しながら重合していくことを，**縮合重合**という。ポリマーがエステル結合やアミド結合をもつ場合(ポリエステル・ポリアミド)が代表例である。




### 開環重合

モノマーが環状構造のとき，開環しながら重合していく。

これを，**開環重合**という。

**まとめ**

モノマーの重合形式には，(　　　　)重合・(　　　　)重合・(　　　　)重合などがある。

# Chapter2　熱に対する性質

**要点**

熱に対する性質

熱可塑性：加熱によりやわらかくなる性質。

熱硬化性：加熱により硬くなる性質。

### ◆ 熱に対する性質　重要

熱可塑性

加熱によりやわらかくなる性質を**熱可塑性**といい，熱可塑性の樹脂を**熱可塑性樹脂**という。

モノマーが結合部位を２ヶ所しかもたないとき，ポリマーは鎖状になる。このような鎖状の樹脂は，基本的に熱可塑性である。

熱硬化性

加熱により硬くなる性質を**熱硬化性**といい，熱硬化性の樹脂を**熱硬化性樹脂**という。

モノマーが結合部位を３ヶ所以上もつとき，ポリマーは網目状になる。このような網目状の樹脂は，基本的に熱硬化性である。

まとめ

加熱によりやわらかくなる性質を（　　　　　　），加熱により硬くなる性質を（　　　　　　）という。

## Chapter3　付加重合による合成樹脂

要点

付加重合による合成樹脂

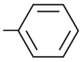
ビニル系・ビニリデン系・フッ素樹脂(テフロン)などがある。

### ◆ 付加重合による合成樹脂　重要

基本的に，モノマーには C=C 結合や C≡C 結合が存在する。鎖状高分子になるため，熱可塑性である。

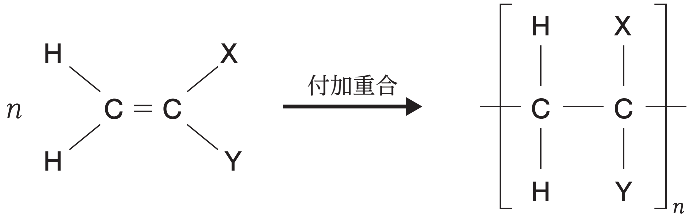
## ◆ ビニル系 重要

ビニル基をもつモノマーを付加重合させてつくる合成高分子化合物。

| 名称 | 単量体 | 用途・性質・その他 |
|---|---|---|
| ポリエチレン(PE) | エチレン　$CH_2 = CH_2$ | 袋，容器，フィルム，<br>電気絶縁物など |
| ポリプロピレン(PP) | プロペン(プロピレン)<br>$CH_2 = CH - CH_3$ | |
| ポリ塩化ビニル(PVC)<br>(塩化ビニル樹脂) | 塩化ビニル　$CH_2 = CHCl$ | シート，管，板など |
| ポリ酢酸ビニル<br>(酢酸ビニル樹脂) | 酢酸ビニル<br>$CH_2 = CH - OCOCH_3$ | 塗料，接着剤，<br>ビニロンの原料など |
| ポリスチレン(PS)<br>(スチロール樹脂) | スチレン　$H_2C = CH -$  | 透明容器，日用品，断熱材<br>(発泡ポリスチレンなど) |

## ◆ ビニリデン系 重要

ビニル基の H 原子をもう 1 つ，違う原子や原子団で置き換えたモノマーを付加重合させてつくる合成高分子化合物。




| 名称 | 単量体 | 用途・性質・その他 |
|---|---|---|
| 塩化ビニリデン樹脂<br>(PVDC) | 塩化ビニリデン　$CH_2 = CCl_2$ | 包装材料，食品用ラップなど<br>耐摩耗性・耐薬品・難燃性に優れる |
| メタクリル樹脂<br>(アクリル樹脂) | メタクリル酸メチル<br>(重合体は PMMA)<br>$H_2C = C(CH_3)COOCH_3$ | 風防ガラス，プラスチックレンズなど<br>PMMAは有機ガラスともいわれる |

### ◆ フッ素樹脂（テフロン） 重要

テトラフルオロエチレンなどを付加重合させてつくる合成高分子化合物。

| 名称 | 単量体 | 用途・性質・その他 |
|---|---|---|
| フッ素樹脂<br>（テフロン） | テトラフルオロエチレン<br>$CF_2=CF_2$<br>クロロトリフルオロエチレン<br>$CClF=CF_2$ など | 電気絶縁材料，フライパンの表面加工剤など<br>耐燃性・耐薬品性・電気絶縁性に優れる |

**まとめ**

付加重合による合成樹脂には，（　　　　　）基をもつモノマーを付加重合させて，合成するものなどがある。

# Chapter4　ビニロン

**要点**

ビニロン

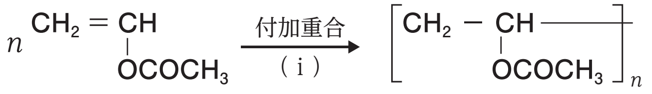
日本で開発された木綿に似た繊維。付加重合により合成する繊維の一つ。

### ◆ ビニロン 重要

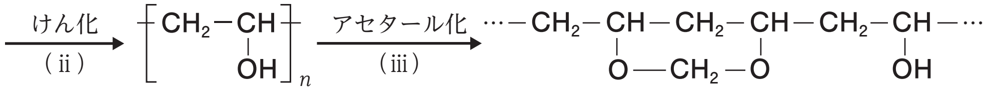
日本で開発された木綿に似た繊維が，ビニロンである。

吸湿性に優れ，強度もあるためロープや作業着に利用されている。

### ◆ 合成の流れ 重要



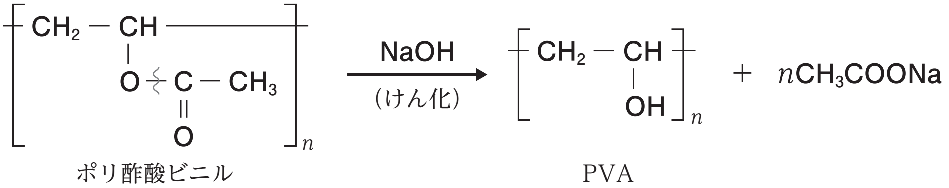

酢酸ビニル　　ポリ酢酸ビニル




ポリビニルアルコール（PVA）　　ビニロン

（i） 酢酸ビニルを付加重合
→ ポリ酢酸ビニルが生成

（ii） ポリ酢酸ビニルを，水酸化ナトリウムを用いてけん化
→ ポリビニルアルコール(PVA)が生成

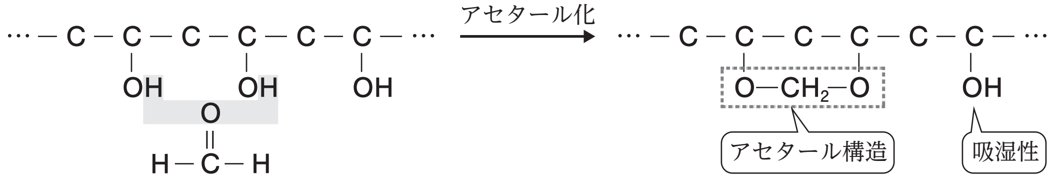



（iii） PVA にホルムアルデヒドを加えて処理(アセタール化)
→ ビニロンが得られる

PVA $\xrightarrow[\text{−OHの30〜40\%をアセタール化}]{HCHO}$ ビニロン

このとき，PVA の－OH の 30 ～ 40% がアセタール構造に変化する。
60 ～ 70% の－OH はそのまま残るため，吸湿性に優れ，強度も十分な繊維になる。

## ◆ アセタール化 重要




**まとめ**

ポリビニルアルコールの－OH の 30 ～ 40% を（　　　　　　　　）して得られるのがビニロンである。

# Chapter5　演習問題

**問**　ポリビニルアルコール(分子量 $44n$)に存在するヒドロキシ基のうち，35% をアセタール化してできるビニロンの分子量は□ $n$ である。□に当てはまる数値を整数で答えよ。ただし，C の原子量は 12 とする。

< Note >

# 第 25 講　PART1　確認問題

問 1　次の問いに答えよ。

(1)　次の 2 つのモノマーの重合形式として最も適当なものを，下の①～③のうちから一つ選べ。

$$n\,\mathrm{HOOC}-\square-\mathrm{COOH}+n\,\mathrm{H_2N}-\square-\mathrm{NH_2}$$

①　縮合重合　　　②　付加重合
③　開環重合

(2)　網目状の樹脂は，基本的に熱可塑性と熱硬化性のどちらの性質を有するか。次の①，②のうちから一つ選べ。
①　熱可塑性　　　②　熱硬化性

(3)　メタクリル樹脂は，どの合成樹脂に該当するか。最も適当なものを，次の①～③のうちから一つ選べ。
①　ビニル系合成樹脂　　　②　ビニリデン系合成樹脂
③　フッ素樹脂

(4)　ポリビニルアルコールをアセタール化すると，ビニロンが得られるが，このとき，ポリビニルアルコールのヒドロキシ基のうちの何 % がアセタール化されるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。
①　1 ~ 10%　　　②　30 ~ 40%
③　60 ~ 70%　　　④　90 ~ 100%

(5) 次の①～③のうち，ビニル基をもつモノマーを付加重合させてつくる合成樹脂はどれか。最も適当なものを一つ選べ。

① スチロール樹脂　② 塩化ビニリデン樹脂
③ フッ素樹脂

(6) 次の①～④のうち，ビニロンの特徴として適さないものはどれか。最も適当なものを，一つ選べ。

① 日本で開発された。
② 木綿に似た性質。
③ 強度がない。
④ 吸湿性に優れる。

(7) ポリビニルアルコールを生成する際，ポリ酢酸ビニルに何を加えるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 水酸化ナトリウム　② 塩化ナトリウム
③ 塩酸　④ 硫酸

# PART2　合成高分子化合物②

目標　・ゴムとイオン交換樹脂について学ぼう！

## Chapter1　ジエン系ゴム

要点

**ジエン系ゴム**

ジエンの付加重合によって得られるゴム。

### ◆ ジエン系ゴム　重要

ゴムには，天然に存在している天然ゴム（生ゴム）と，人工的に合成された合成ゴムがある。それらの中で，モノマーがジエン（C＝C 結合× 2）のゴムが，ジエン系ゴムである。

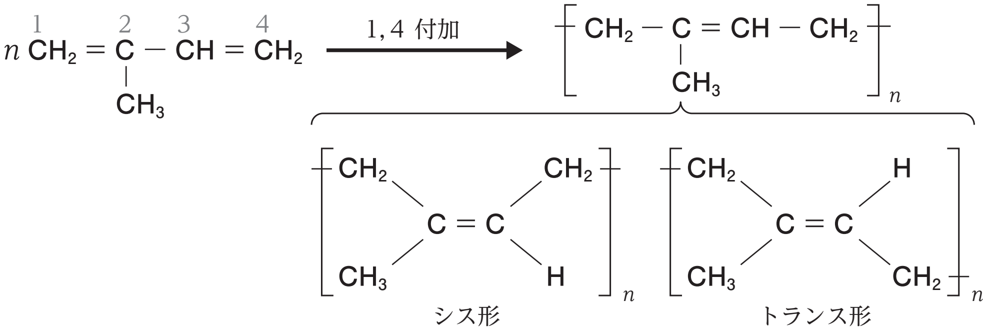
$$n\,\overset{1}{CH_2}=\underset{\displaystyle X}{\overset{2}{C}}-\overset{3}{CH}=\overset{4}{CH_2}\ \xrightarrow[\text{1,4付加}]{\text{付加重合}}\ \left[\ CH_2-\underset{\displaystyle X}{C}=CH-CH_2\ \right]_n$$

$-X$
- $-CH_3$ → ポリイソプレン（天然ゴム）
- $-H$ → ポリブタジエン（接着剤）
- $-Cl$ → ポリクロロプレン（機械部品）

ジエンの付加重合は基本的に 1,4 付加が起こる。

## ◆ 天然ゴム　重要

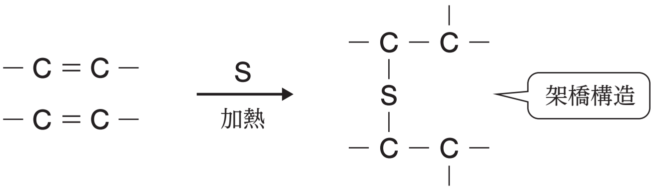
イソプレンが 1,4付加で重合した構造をもつのが，天然ゴムである。1,4付加の重合体にはシス形とトランス形が存在する。




弾性をもつのはシス形で，トランス形は**グッタペルカ**とよばれる硬い樹脂である。

加硫

天然ゴムは分子の対称性が低く結晶化しにくいため，弾性が弱く耐久性が不十分である。そのため，5 ～ 8%の硫黄を加えて加熱し，架橋構造をつくることで弾性や強度の増したゴムに変える。この操作を**加硫**といい，加硫によって得られるゴムを**弾性ゴム**という。




また，硫黄の割合を 30 ～ 40%にすると架橋構造が過剰になり，弾性のない硬い樹脂になる。これを，**エボナイト**という。

まとめ

・天然ゴムは，（　　　　　　　　　）が付加重合した構造である。

・弾性をもつのは，（　　　　　）形の重合体である。

# Chapter2　共重合によるゴム

**要点**

共重合によるゴム

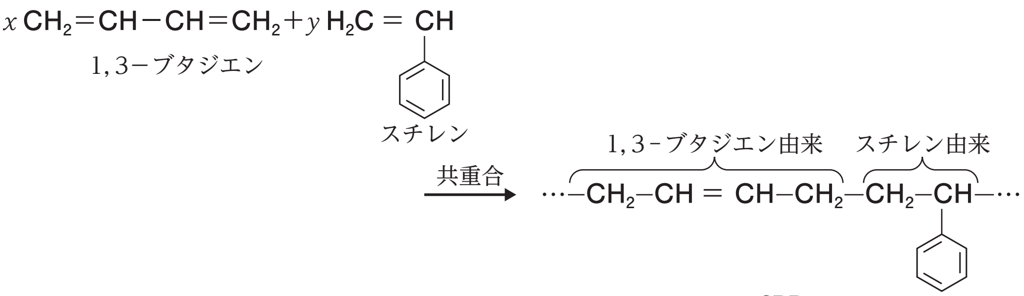
1,3-ブタジエンとビニル系化合物の２つを混ぜ合わせて重合した合成ゴム。

## ◆ 共重合によるゴム　重要

モノマーが２種類以上の付加重合を，**共重合**という。共重合により合成されるゴムのモノマーには，1,3-ブタジエンとビニル系化合物の２つを使用する。

スチレンブタジエンゴム(SBR)

1,3-ブタジエンとスチレンを共重合させて得られる。




SBR

ベンゼン環が入ることで強度が大きいゴムになる。スチレンの割合が 25% 程度のものが自動車のタイヤとして多く用いられている。

アクリロニトリルブタジエンゴム(NBR)

1,3-ブタジエンとアクリロニトリルを共重合させて得られる。

$$x\,\mathrm{CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2} + y\,\mathrm{CH_2{=}CH(CN)} \xrightarrow{\text{共重合}} \cdots\mathrm{-\underbrace{CH_2{-}CH{=}CH{-}CH_2}_{\text{1,3−ブタジエン由来}}-\underbrace{CH_2{-}CH(CN)}_{\text{アクリロニトリル由来}}-}\cdots$$

1, 3−ブタジエン　　アクリロニトリル　　NBR

極性をもつシアノ基$-\overset{\delta+}{\mathrm{C}}\equiv\overset{\delta-}{\mathrm{N}}$を導入することで，極性をもつゴムとなる。極性物質と無極性物質は馴染みにくいため，石油などの無極性物質に対する耐性が強いゴムである。

**まとめ**

（　　　　　　　　　）とビニル系化合物を付加重合させて合成するゴムのように，モノマーが 2 種類以上の付加重合を（　　　　　　）という。

# Chapter3　イオン交換樹脂

**要点**

イオン交換樹脂

スチレンと *p*-ジビニルベンゼンの共重合体に，置換反応で官能基－X を導入したもの。

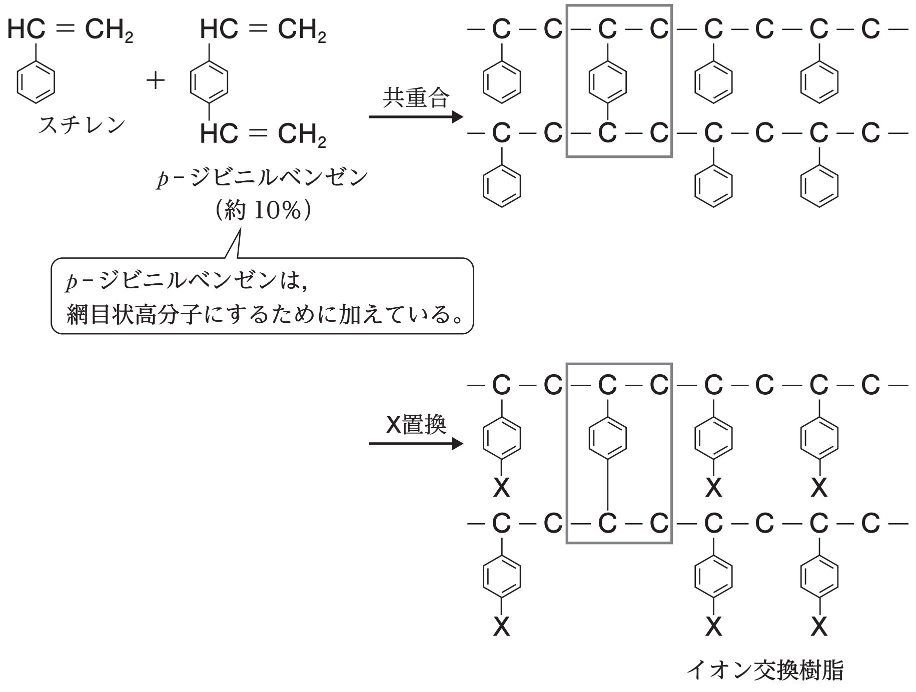
## ◆ イオン交換樹脂 重要

樹脂に電解質水溶液を流し込むと，樹脂のイオンと水溶液中の同符号のイオンが入れ替わる。このような機能をもった合成樹脂を，**イオン交換樹脂**という。

イオン交換樹脂は，以下のように合成される。

・スチレンと *p*-ジビニルベンゼン（約 10％）を共重合させ，網目状高分子にする

・この網目状高分子のベンゼン環に，置換反応で官能基－X を導入する



まとめ

イオン交換樹脂は（　　　　　　）と約10%の（　　　　　　　　　　）の共重合体に，置換反応で官能基−Xを導入して合成する。

# Chapter4　イオン交換樹脂の利用

要点

イオン交換樹脂の利用

脱イオン水の製造などに利用されている。

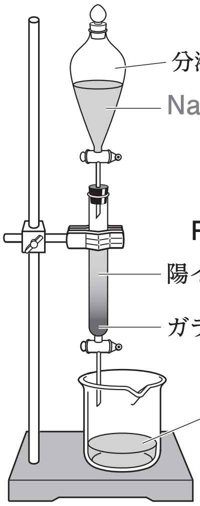
## ◆ 陽イオン交換樹脂（−X：$-SO_3H$，−COOH） 重要

官能基−Xが$-SO_3H$（または−COOH）のとき，**陽イオン交換樹脂**となる。陽イオン交換樹脂に電解質水溶液を流し込むと，陽イオン交換樹脂の$H^+$と水溶液の陽イオンが交換され，酸の水溶液が流出する。

**例** 陽イオン交換樹脂（$R-SO_3H$）にNaClaqを流し込む

$$R-SO_3H + NaCl \rightleftarrows R-SO_3Na + HCl$$

この反応は可逆反応なので，使用後のイオン交換樹脂に希塩酸などを流し込むと，元の状態に再生することができる。



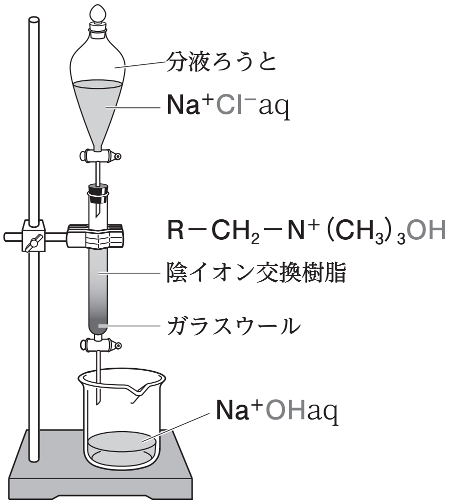
## ◆ 陰イオン交換樹脂（$-X:-CH_2-N^+(CH_3)_3OH^-$）

官能基$-X$が$-CH_2-N^+(CH_3)_3OH^-$のとき，**陰イオン交換樹脂**となる。陰イオン交換樹脂に電解質水溶液を流し込むと，陰イオン交換樹脂の$OH^-$と水溶液の陰イオンが交換され，塩基の水溶液が流出する。

**例** 陰イオン交換樹脂($R-CH_2-N^+(CH_3)_3OH^-$)に NaClaq を流し込む

$$R-CH_2-N^+(CH_3)_3OH^- + NaCl \rightleftarrows R-CH_2-N^+(CH_3)_3Cl^- + NaOH$$

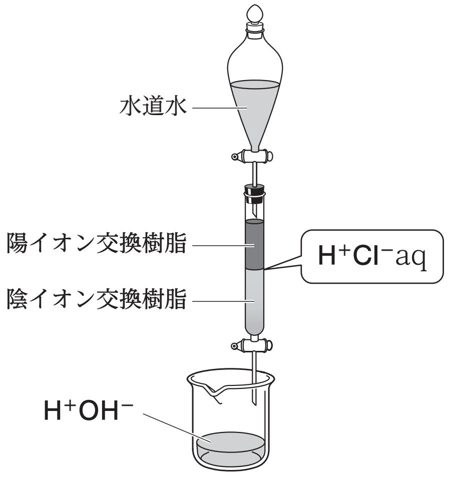
この反応は可逆反応なので，使用後のイオン交換樹脂に水酸化ナトリウム水溶液などを流し込むと，元の状態に再生することができる。




## ◆ イオン交換樹脂の利用 重要

水道水を陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂の両方に通じると，水道水中の陽イオンは$H^+$に，陰イオンは$OH^-$に交換されるため，純水が得られる。このような純水を脱イオン水という。

その他にも，アミノ酸の分離や廃水に含まれる有害金属イオンの処理など，多岐にわたって利用されている。




**まとめ**

水道水を，陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂に通じると，(　　　　　　　　) が得られる。

# Chapter5　演習問題

**問**　濃度がわからない塩化ナトリウム水溶液 20.0mL を陽イオン交換樹脂に通じたのち，蒸留水で完全に洗浄した。それら全ての流出液を 0.0100mol/L の水酸化ナトリウム水溶液で滴定したところ，中和点までに 25.0mL を要した。この塩化ナトリウム水溶液のモル濃度(mol/L)を求めよ。

< Note >

# 第 25 講 PART2 確認問題

問 1 天然ゴムは (a)イソプレンが 1,4付加で重合した構造をしており，分子の対称性が低く結晶化しにくいため，弾性が弱く耐久性が不十分である場合が多い。そのため，(　ア　) %の硫黄を加えて加熱し，架橋構造をつくることで弾性や強度の増したゴムに変えることもある。

また，人工的に合成されたゴムを合成ゴムといい，(b)共重合により合成されるゴムがある。

(1) 文中の下線部 (a) について，イソプレンの 1,4付加の重合体にはシス形とトランス形が存在するが，このうち，弾性をもつものはどちらか。次の①，②のうちから一つ選べ。

① シス形　　② トランス形

(2) 文中の (　ア　) に当てはまる数として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 5 ~ 8　　② 15 ~ 18
③ 30 ~ 40　　④ 50 ~ 60

(3) 文中の下線部 (b) について，共重合によるゴムの例として，スチレンブタジエンゴム (SBR) とアクリロニトリルブタジエンゴム (NBR) があるが，このうち，石油などの無極性物質に対する耐性が強いものはどちらか。次の①，②のうちから一つ選べ。

① SBR　　② NBR

(4) イオン交換樹脂を合成する際，スチレンと *p*-ジビニルベンゼンを共重合させる必要があるが，この共重合において，*p*-ジビニルベンゼンの占める割合は，約何 % にすればよいか。最も適当なものを, 次の①～④のうちから一つ選べ。

① 約 10%　② 約 30%

③ 約 50%　④ 約 70%

(5) 陰イオン交換樹脂に塩化ナトリウム水溶液を流し込むと，次の①～④のうちどの水溶液が流出するか。最も適当なものを，一つ選べ。

① 塩化ナトリウム水溶液　② 塩酸

③ 水酸化ナトリウム水溶液　④ 純水

(6) 脱イオン水を製造するとき，水道水を次の①～③のうちどのイオン交換樹脂に通じるか。最も適当なものを，一つ選べ。

① 陽イオン交換樹脂のみ

② 陰イオン交換樹脂のみ

③ 陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂

# PART3　合成高分子化合物③

目標　・縮合重合で合成する繊維を中心に学ぼう！

## Chapter1　ポリエステル

要点

ポリエステル

分子内に多数のエステル結合をもつ高分子化合物。

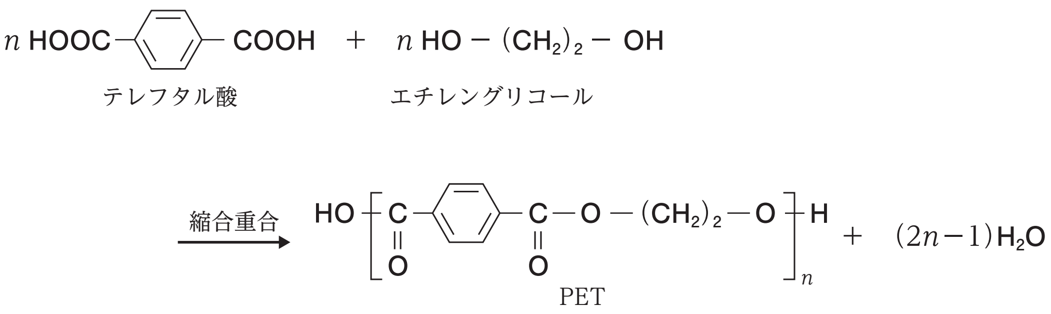
### ◆ ポリエステル　重要

モノマー同士が縮合重合によってエステル結合で結びつくと，鎖状の重合体が生成する。このような，分子内に多数のエステル結合をもつ高分子化合物を，**ポリエステル**という。

吸湿性が小さいことから，乾きが速く型崩れしにくいため，衣料に用いられている合成繊維である。

ポリエチレンテレフタラート（PET）

テレフタル酸とエチレングリコールの縮合重合で合成される。




まとめ

（　　　　　　　　）と（　　　　　　　　　　）の縮合重合でポリエチレンテレフタラートが合成される。

# Chapter2　ナイロン

**要点**

ナイロン(ポリアミド)

分子内に多数のアミド結合をもつ高分子化合物

## ◆ ナイロン　重要

モノマー同士が縮合重合によってアミド結合で結びつくと，鎖状の重合体が生成する。このような，分子内に多数のアミド結合をもつ高分子化合物を，**ナイロン**(ポリアミド)という。

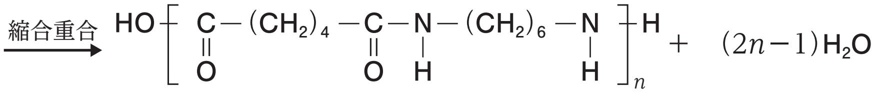
絹や羊毛などの動物性繊維(タンパク質)を参考に合成された繊維で，分子間に水素結合を形成するため，強度が大きくしわになりにくい性質をもつ。

ナイロン 66

アジピン酸とヘキサメチレンジアミンの縮合重合によって得られるのが，**ナイロン 66** である。

$n\,HOOC-(CH_2)_4-COOH \quad + \quad n\,H_2N-(CH_2)_6-NH_2$

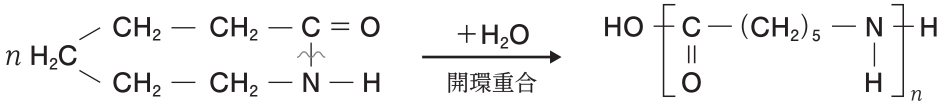
アジピン酸　　　　ヘキサメチレンジアミン



ナイロン66

ナイロン 6

ε-カプロラクタムの開環重合によって得られるのが，**ナイロン 6** である。

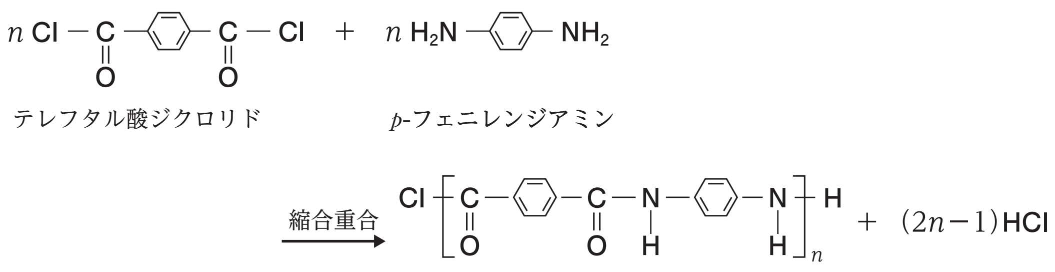


ε-カプロラクタム　　　　ナイロン6

アラミド繊維

芳香族のジカルボン酸と芳香族のジアミンを縮合重合させて得られる芳香族のポリアミドを，**アラミド繊維**という。

ベンゼン環をもつため丈夫な繊維で，防弾チョッキなどに利用されている。




まとめ

ナイロン66は，（　　　　　　　　）と（　　　　　　　　　　　　　　　）の縮合重合によって合成される。

## Chapter3　その他の合成高分子化合物

要点

その他の合成高分子化合物

フェノール樹脂などの付加縮合(付加反応と縮合反応がくり返される重合反応)によって合成される樹脂は，立体網目状高分子で熱硬化性のものが多い。

### ◆ フェノール樹脂　重要

酸または塩基触媒を用いてフェノールとホルムアルデヒドを加熱すると，付加縮合(付加反応と縮合反応がくり返される重合反応)によりフェノール樹脂が得られる。

最初に実用化された合成樹脂で，電気絶縁性に優れ，電気部品等に利用されている。

・**酸触媒のとき**

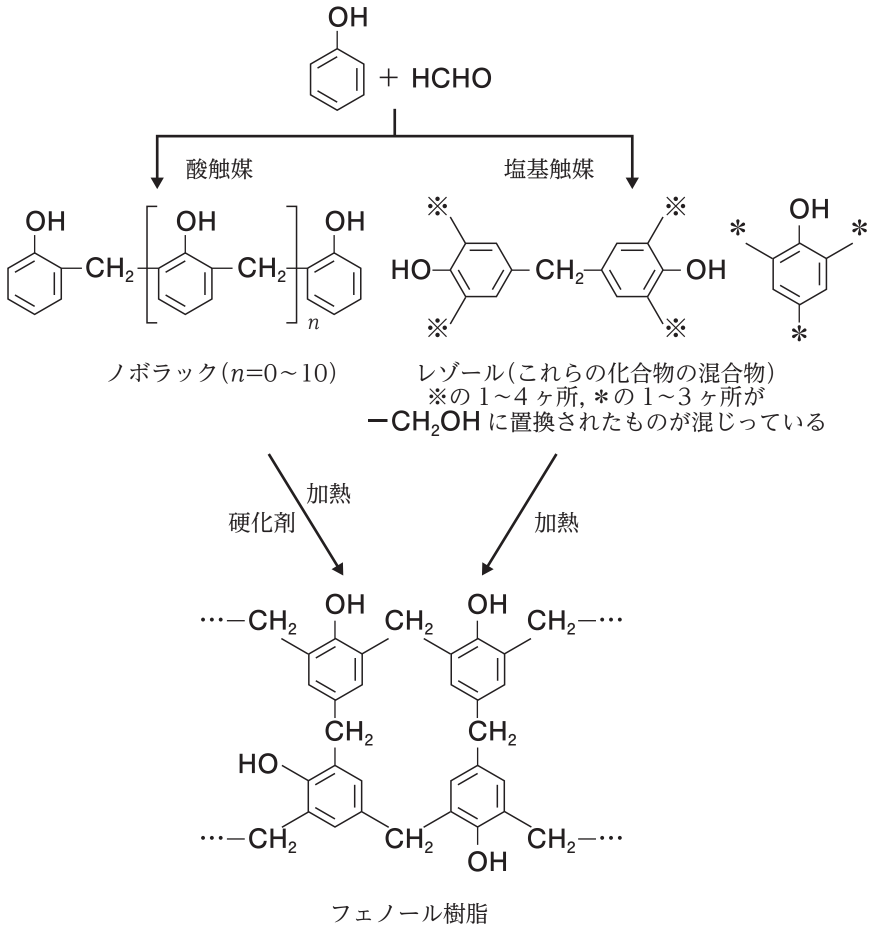
直鎖状の中間体(ノボラック)が生じる。

ノボラックは熱可塑性なので, 立体網目状高分子にするには硬化剤を加える必要がある。

・**塩基触媒のとき**

ノボラックより小さい網目状の中間体(レゾール)が生じる。

レゾールは熱硬化性なので，加熱するだけで立体網目状高分子に変化する。




## ◆ その他

尿素とホルムアルデヒドから合成される尿素樹脂，メラミンとホルムアルデヒドから合成されるメラミン樹脂などがある。

**まとめ**

フェノールと（　　　　　　　　　　　）からフェノール樹脂が合成される。

# Chapter4　演習問題

**問**　次の合成繊維のモノマーを，化合物名で答えよ。複数ある場合は，すべて答えよ。

(1)　ナイロン 6　　(2)　ナイロン 66　　(3)　ポリエチレンテレフタラート

< Note >

# 第25講 PART3 確認問題

問1 次の問いに答えよ。

(1) テレフタル酸とエチレングリコールの縮合重合によって合成される繊維として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ナイロン6

② ナイロン66

③ アラミド繊維

④ ポリエチレンテレフタラート

(2) ε-カプロラクタムの開環重合によって得られる繊維として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ナイロン6

② ナイロン66

③ アラミド繊維

④ ポリエチレンテレフタラート

(3) アジピン酸とヘキサメチレンジアミンの縮合重合によって得られる繊維として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① ナイロン6

② ナイロン66

③ アラミド繊維

④ ポリエチレンテレフタラート

(4) フェノール樹脂は，フェノールと何の付加縮合によって合成される樹脂か。最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。

① メラミン　② 尿素
③ ホルムアルデヒド　④ アセトアルデヒド

(5) フェノール樹脂の生成において，酸触媒を用いたときに生じる中間体は何か。最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。

① レゾール　② ノボラック
③ グッタペルカ　④ ビニロン

(6) ナイロンの説明として最も適当なものを，次の①〜④のうちから一つ選べ。

① フェノール樹脂である。
② 強度が小さい。
③ しわになりやすい。
④ 分子間に水素結合を形成する。

[写真・映像提供元]
アフロ

# テキスト解答

# 第９講　無機反応と気体

## PART1　無機反応と気体の製法

問　⑴　$NO_2$

⑵　$CO_2$

⑶　HCl

⑷　CO

⑸　$NH_3$

加熱が必要な製法：⑶・⑷・⑸

## PART2　気体の性質

問　⑴　$NH_3$　乾燥剤②

⑵　$CO_2$　乾燥剤①

⑶　$H_2S$　乾燥剤③

# 第 10 講　非金属元素

## PART1　ハロゲン

問　(1)　$F_2$

(2)　$I_2$

(3)　HF

## PART2　酸素

問　酸性酸化物：$N_2O_5$，$Cl_2O_7$

塩基性酸化物：$Na_2O$，CuO

両性酸化物：ZnO

## PART3　硫黄

問　(1)

## PART4　窒素

問　12.6kg

## PART5　リン

問　②

## PART6　ケイ素

問　②

# 第 11 講　金属の単体の反応

## PART1　金属のイオン化傾向

問　⑴　Na

⑵　Al

⑶　Cu

# 第 12 講　沈殿と無機反応

## PART1　沈殿生成反応と沈殿の色

問　(2)，(3)，(5)

## PART2　錯イオン形成反応と錯イオン

問　(1)　$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

(2)　$[Fe(CN)_6]^{4-}$

## PART3　系統分析

問　A：AgCl，B：CuS，C：水酸化鉄（Ⅲ），D：ZnS，E：$BaCO_3$

# 第 13 講　典型金属元素

## PART1　アルカリ金属

問　100kg

## PART2　アルカリ土類金属

問　③

## PART3　アルミニウム

問　14mol

# 第 14 講　遷移金属元素

## PART1　遷移元素

問　① $K^2L^8M^9N^2$　② $K^2L^8M^{16}N^2$　③ $K^2L^8M^{18}N^1$

## PART2　銅

問　④

## PART3　鉄

問　①

# 第15講　有機化合物の特徴と分類

## PART1　元素分析

問　$C_4H_8O$

## PART2　有機化合物の構造

問　2種類

## PART3　構造異性体①

問　②

## PART4　構造異性体②

問　③

## PART5　立体異性体①

問　②　④　⑤

## PART6　立体異性体②

問　③　⑤

# 第 16 講　脂肪族炭化水素

## PART1　飽和炭化水素

問　2,3- ジメチルペンタン

## PART2　アルケン

問　④

## PART3　アルキン

問　①　1,2- ジブロモエチレン

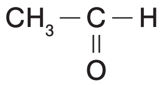
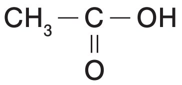
②　塩化ビニル

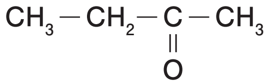
③　アセトアルデヒド

④　アクリロニトリル

# 第17講　酸素を含む脂肪族化合物

## PART1　アルコール・エーテル

問　①　　

②　

③　なし

## PART2　アルデヒド・ケトン①

問　①　ホルムアルデヒド

②　アセトアルデヒド

操作(1)　Ag　　(2)　$Cu_2O$

## PART3　アルデヒド・ケトン②

問　③・④・⑤

## PART4　カルボン酸・エステル①

問　①

## PART5　カルボン酸・エステル②

問　$CH_3COOCH(CH_3)_2 + NaOH \rightarrow CH_3COONa + CH_3CH(OH)CH_3$

## PART6　油脂

問　174g

## PART7　セッケンと合成洗剤

問　④

# 第 18 講　芳香族炭化水素

## PART1　ベンゼン・アルキルベンゼン

問　(A)　フタル酸

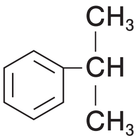
(B)　無水フタル酸

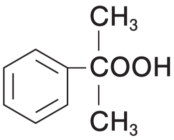
# 第 19 講　酸素を含む芳香族化合物

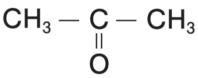
## PART1　フェノール①

問　③

## PART2　フェノール②

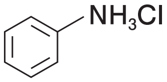
問　(1)


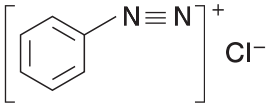

(2)


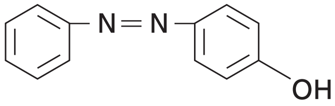

(3)


# 第 20 講　窒素を含む芳香族化合物

## PART1　アニリン

問　(1)



(2)



(3)


# 第 21 講　有機化合物の分離

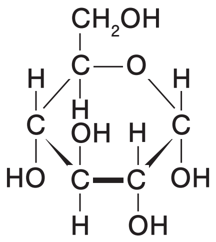
## PART1　芳香族化合物の分離

問　①　a　　②　d

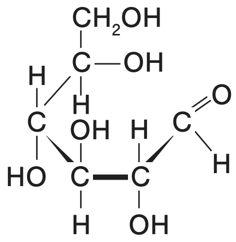
# 第 22 講　糖類

## PART1　単糖類

問　(1)



(2)



## PART2　二糖類

問　(1)　構成単糖：α-グルコース・α-またはβ-グルコース

結合部位：1,4 結合

(2)　構成単糖：α-グルコース・β-フルクトース ( 五員環 )

結合部位：1,2 結合

(3)　構成単糖：β-グルコース・α-またはβ-グルコース

結合部位：1,4 結合

水溶液が還元性を示さないもの　(2)

## PART3　多糖類（デンプン）

問　9.0g

## PART4　多糖類（セルロース）

問　8.6g

# 第 23 講　タンパク質

## PART1　アミノ酸

問　6.0

## PART2　タンパク質

問　24 種類

## PART3　酵素

問　②

# 第 24 講　核酸

## PART1　核酸

問　27%

# 第 25 講　合成高分子化合物

## PART1　合成高分子化合物①

問　46

## PART2　合成高分子化合物②

問　0.0125mol/L

## PART3　合成高分子化合物③

問　(1)　ε-カプロラクタム

(2)　アジピン酸，ヘキサメチレンジアミン

(3)　テレフタル酸，エチレングリコール

# 確認問題解答

# 第9講　PART1　確認問題　解答

## 問1

(1)　②

解説：
希塩酸は強酸であり，硫化鉄 ( Ⅱ ) は弱酸（$H_2S$）由来の塩であるため, この反応は弱酸遊離反応である。そのため，発生する気体は弱酸の $H_2S$ である。
($FeS + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2S$)

(2)　③

解説：
酸化剤（希硝酸）と還元剤（銅）の組み合わせなので，この反応は酸化還元反応である。希硝酸は酸化剤として反応後，一酸化窒素 NO に変化するので，発生する気体は NO である。
($3Cu + 8HNO_3 \rightarrow 3Cu(NO_3)_2 + 2NO + 4H_2O$)

(3)　④

解説：
揮発性の酸の塩（$CaF_2$）と濃硫酸の組み合わせなので，この反応は揮発性の酸遊離反応である。そのため，発生する気体は揮発性の酸の HF である。
($CaF_2 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + 2HF$)

⑷　①

**解説：**

亜硝酸アンモニウムは加熱すると以下のように分解する。

$NH_4NO_2 \rightarrow N_2 + 2H_2O$

よって，発生する気体は $N_2$ である。

⑸　④

**解説：**

d は酸化マンガン ( Ⅳ ) を触媒として用いているため，反応に加熱は必要ない。

# 第 9 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

二酸化炭素 $CO_2$ は無臭であり，刺激臭をもたない。

(2)　④

解説：

オゾン $O_3$ は酸化力をもち，KI デンプン紙を青色に変える。

(3)　②

解説：

二酸化窒素 $NO_2$ は赤褐色の気体である。

(4)　④

解説：

アンモニア $NH_3$ は水溶性の気体であり，空気より軽い（分子量が空気の平均分子量の約 29 より小さい）ので，上方置換で捕集する。

(5)　④

解説：

発生する気体はアンモニア $NH_3$ で，塩基性の気体なので，中性や塩基性の乾燥剤を選ぶ。塩化カルシウム $CaCl_2$ は中性の乾燥剤であるが，$NH_3$ と反応するため，不適である。よって，塩基性の乾燥剤のソーダ石灰が適切である。

# 第 10 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

ハロゲンの単体のうち，常温常圧で液体のものは $Br_2$ である。$F_2$ と $Cl_2$ は気体，$I_2$ は固体である。

(2)　②

解説：

ハロゲンの単体のうち，黄緑色のものは $Cl_2$ である。$F_2$ は淡黄色，$Br_2$ は赤褐色，$I_2$ は黒紫色である。

(3)　①

解説：

ハロゲンの単体の酸化力の強さは，$F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$ の順となる。

(4)　④

解説：

$I_2$ は酸化力が弱く，$H_2O$ と反応しない。

(5)　②

解説：

沸点は分子量が大きい分子ほど高くなるが，ハロゲン化水素の中で最も分子量が小さい HF は分子間に水素結合をもつため，沸点が最も高い。そのため，ハロゲン化水素の中で沸点が最も低いものは HCl である。

⑹　①

**解説：**

HF は気体も水溶液もガラス（$SiO_2$）と反応するため，ポリエチレン容器に保存する。

⑺　④

**解説：**

最初の洗気ビンには，水を入れて HCl を取り除き，次の洗気ビンには，乾燥剤として濃硫酸を入れて $H_2O$ を取り除く。

# 第 10 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

オゾンは淡青色の気体である。

(2)　②

解説：

オゾンは酸化力が強く，KI デンプン紙を青変させる。

(3)　④

解説：

酸性酸化物は非金属元素の酸化物なので，$SO_3$ である。

(4)　③

解説：

両性酸化物は両性金属の酸化物なので，$Al_2O_3$ である。

(5)　②

解説：

オキソ酸は酸素原子をもつ酸なので，HCl は該当しない。

(6)　④

解説：

同一元素のオキソ酸においては，中心原子の酸化数が大きいものほど酸性が強い。①～④のオキソ酸について，Cl の酸化数は，HClO で＋ 1，$HClO_2$ で＋ 3，$HClO_3$ で＋ 5，$HClO_4$ で＋ 7 なので，酸性が最も強いものは $HClO_4$ である。

# 第10講　PART3　確認問題　解答

## 問1

(1)　④

**解説：**

斜方硫黄と単斜硫黄はどちらも分子式 $S_8$ で表される。

(2)　②

**解説：**

単斜硫黄は，高温で熱運動が激しく，分子間距離が大きくなり体積が増加するため，斜方硫黄よりも密度が小さい。

(3)　①

**解説：**

常温で安定なのは斜方硫黄である。単斜硫黄は高温で安定，ゴム状硫黄は不安定である。

## 問2

(1)　②

**解説：**

接触法では，酸化バナジウム (V)$V_2O_5$ を触媒に用いる。

(2)　③

**解説：**

濃硫酸は $SO_2$ を原料とした接触法で合成する。

⑶　④

**解説：**

酸化バナジウム (V)$V_2O_5$ 触媒存在下で $SO_2$ を $O_2$ で酸化し，$SO_3$ を得ている。($2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$)

⑷　②

**解説：**

濃硫酸は水が約 2% しか存在せず，ほとんど電離していないため，強酸性を示さない。よって，②が該当しない。

# 第 10 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

オストワルト法では，白金 Pt 触媒存在下で $NH_3$ を 800℃で燃焼させる。

(2)　①

解説：

オストワルト法において，(i)(ii)(iii)の反応式をまとめると，以下のようになる。

$NH_3 + 2O_2 \rightarrow HNO_3 + H_2O$

よって，原料の $NH_3$ と生成する $HNO_3$ のモル比は 1：1 になる。

(3)　④

解説：

硝酸は酸化剤であることから，還元性はない。よって，④が該当しない。

(4)　②

解説：

オストワルト法において，原料の $NH_3$ と生成する $HNO_3$ のモル比は 1：1 になるので，必要な $NH_3$ は

$\frac{31.5}{63} \times 17 = 8.50\text{kg}$ である。

# 第10講　PART5　確認問題　解答

## 問1

(1)　③

解説：
黄リンの化学式は $P_4$ (分子式) で，赤リンの化学式は P (組成式) である。

(2)　①

解説：
黄リンは空気中で自然発火するため，水中に保存しておく必要がある。

(3)　③

解説：
空気を遮断して黄リンを約 250℃に加熱すると，赤リンが得られる。

(4)　②

解説：
十酸化四リンに水を加えて加熱すると，リン酸が得られる。

(5)　①

解説：
黄リンは湿った空気中で青白く光る（リン光)。

# 第 10 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：

ケイ素は酸素 O に次いで地殻中に多く含まれる元素である。

(2)　②

解説：

ケイ素の単体は半導体としての性質をもつ。

(3)　②

解説：

シリカゲルは多孔質であり，ヒドロキシ基ー OH を多数もつため，乾燥剤や脱臭剤として利用される。

(4)　③

解説：

ケイ酸ナトリウム $Na_2SiO_3$ に水を加えて，耐圧容器中で加熱すると，無色透明で粘性の大きい水ガラスが得られる。

# 第 11 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：

Al は Zn よりもイオン化傾向が大きいため，$Zn^{2+}$を含む水溶液に Al の単体を加えると，Zn の単体が析出する。

(2)　②

解説：

Mg は冷水（常温の水）とは反応せず，沸騰水と反応する。

(3)　④

解説：

Ag は希硫酸とは反応しないが，熱濃硫酸とは反応する。

(4)　③

解説：

Fe は不動態となるため，濃硝酸とは反応しない。

(5)　④

解説：

Ag は常温で酸化されない。

# 第12講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：

$PbSO_4$ は難溶性の化合物なので，水に溶解しない。

(2)　①

解説：

イオン化傾向が Sn より大きい ZnS は強酸性にすると溶解する。

(3)　②

解説：

$Fe(OH)_2$ は緑白色の沈殿である。

(4)　②

解説：

$Ag_2O$ は（暗）褐色の沈殿である。

(5)　③

解説：

PbS は黒色の沈殿である。

# 第12講　PART2　確認問題　解答

## 問1

(1)　①

解説：

配位数 4，配位子 $NH_3$，中心金属 Zn，酸化数 2，錯イオン全体が陽イオンより，テトラアンミン亜鉛(Ⅱ)イオンとなる。

(2)　②

解説：

「ジ」は配位数 2，「シアニド」は配位子 $CN^-$，「銀(Ⅰ)」は中心金属 Ag で酸化数 1 なので，$[Ag(CN)_2]^-$となる。

(3)　③

解説：

$Cu^{2+}$の錯イオンの形は正方形である。

(4)　③

解説：

$Zn^{2+}$は水中で $[Zn(H_2O)_4]^{2+}$となっているが，$OH^-$存在下では最初に 2 つの $H_2O$ が $OH^-$に置き換わり，$[Zn(OH)_2(H_2O)_2]$ の沈殿が生成する。その後，残りの 2 つの $H_2O$ が $OH^-$に置き換わり，$[Zn(OH)_4]^{2-}$として再溶解する。

# 第 12 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
塩酸を加えることで $PbCl_2$ が沈殿する（沈殿 A）。よって，金属イオンとしては $Pb^{2+}$ が該当する。

(2)　④

解説：
ろ液に対し，硫化水素を吸収させる（酸性下）ことで CuS が沈殿する（沈殿 B）。よって，金属イオンとしては $Cu^{2+}$ が該当する。

(3)　②

解説：
煮沸後，希硝酸を加えたろ液に対し，アンモニア水を加えることで水酸化鉄(Ⅲ)が沈殿する（沈殿 C）。よって，金属イオンとしては $Fe^{3+}$ が該当する。

(4)　②

解説：
ろ液に対し，硫化水素を吸収させる（塩基性下）ことで ZnS が沈殿する（沈殿 D）。よって，金属イオンとしては $Zn^{2+}$ が該当する。

⑸　②

**解説：**

ろ液に対し，炭酸アンモニウム水溶液を加えることで $CaCO_3$ が沈殿する（沈殿 E）。よって，金属イオンとしては $Ca^{2+}$ が該当する。

⑹　④

**解説：**

残ったろ液には $K^+$ が含まれているので，炎色反応によって呈する色は赤紫色である。

# 第13講　PART1　確認問題　解答

## 問1

(1)　④

解説：
アルカリ金属の単体は融点が低く，やわらかい。また，密度が小さい（軽金属）。

(2)　③

解説：
アルカリ金属は還元力が強く，$O_2$ や $H_2O$ と容易に反応するため，石油中に保存する。

(3)　③

解説：
水酸化ナトリウムは潮解性があり，空気中の水分を吸収するため，正しい質量をはかりとることができない。

(4)　②

解説：
炭酸ナトリウムは風解性があり，空気中で結晶水の一部を失いやすい。

(5)　②

解説：
アンモニアソーダ法は，次のような反応式にまとめられる。

$2NaCl + CaCO_3 \rightarrow Na_2CO_3 + CaCl_2$

反応する $CaCO_3$ と生成する $Na_2CO_3$ の mol 比は 1：1 となるので，生成される $Na_2CO_3$ は

$\dfrac{300 \times 10^3}{100} \times 106 \div 10^3 = 318\text{kg}$ である。

# 第 13 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：
$CaCO_3$ は天然に石灰石や大理石の主成分として存在している。

(2)　②

解説：
$CaCO_3$ を加熱すると，熱分解により CaO に変化する。CaO は生石灰ともよばれる。

(3)　①

解説：
$Ca(OH)_2$ は消石灰ともよばれており，水溶液は強塩基性を示す。

(4)　④

解説：
石灰水は $Ca(OH)_2$ の飽和水溶液であり，$CO_2$ を通じると，$CaCO_3$ が生じて白濁する。

$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$

(5)　④

解説：
$CaSO_4$ は天然に，二水和物であるセッコウ $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ として存在している。

(6)　③

解説：

$BaSO_4$ は X 線検査の造影剤として利用されている。

(7)　①

解説：

アルカリ土類金属のうち，Be と Mg は炎色反応を示さない。

# 第13講　PART3　確認問題　解答

## 問1

（1）　③

解説：

電気伝導性，熱伝導性の大きい順に並べると，

Ag ＞ Cu ＞ Au ＞ Al　となる。

（2）　③

解説：

テルミット反応の化学反応式は，以下のようになる。

$$2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe$$

（3）　①

解説：

アルミニウムの単体は，酸とも強塩基とも反応し，いずれも水素が発生する。

（4）　④

解説：

$Al_2(SO_4)_3$ と $K_2SO_4$ の混合水溶液を，冷却したり濃縮したりすると，ミョウバン $AlK(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ が得られる。

（5）　①

解説：

ミョウバンの水溶液は，弱酸性を示す。

(6)　④

**解説：**

バイヤー法では，ボーキサイトから純度の高い酸化アルミニウム（アルミナ）を取り出している。

(7)　③

**解説：**

アルミニウムは，燃焼すると多量の熱と光を発生する。

燃焼熱は，金属の中で最大である。

# 第 14 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：

遷移元素は，周期表 3 ～ 12 族の元素である。

(2)　③

解説：

原子番号順に見ると，最初に登場する遷移元素は第 4 周期，3 族，原子番号 21 番のスカンジウム Sc である。

(3)　④

解説：

$_{22}Ti$ の電子配置は $K^2L^8M^{10}N^2$ で，①は K，②は Ca，③は Sc の電子配置である。

(4)　④

解説：

遷移元素は一般的に融点が高く，密度が大きい。

(5)　②

解説：

遷移元素は，錯イオン同様，イオンや化合物は有色のものが多い。

(6)　①

**解説：**

遷移元素は，最外殻電子数が基本的に 2(または 1)で等しいため，同じ族だけでなく，周期表で隣り合った元素同士もよく似た性質を示す。

# 第 14 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
銅とスズからなる合金は，青銅である。

(2)　④

解説：
銅の単体は，空気中で加熱すると酸化銅(Ⅱ)CuO に，1000℃以上で加熱すると酸化銅(Ⅰ)$Cu_2O$ になる。

(3)　③

解説：
酸化銅(Ⅱ)CuO は黒色だが，酸化銅(Ⅰ)$Cu_2O$ は赤色である。

(4)　④

解説：
水酸化銅(Ⅱ)$Cu(OH)_2$ は，$Cu^{2+}$を含む水溶液に塩基を加えることで生じる青白色の沈殿である。

(5)　①

解説：
水酸化銅(Ⅱ)$Cu(OH)_2$ に過剰のアンモニア水を加えると，錯イオン $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$を形成して溶解し，深青色の溶液になる。

⑹　②

**解説：**

硫酸銅(Ⅱ)五水和物 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ は，青色結晶である。

⑺　④

**解説：**

硫酸銅(Ⅱ)五水和物 $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ は加熱すると水和水を失い，最終的には無水物の白色粉末に変化する。

⑻　④

**解説：**

銅を湿った空気中に放置すると，緑青が生じる。

# 第14講 PART3 確認問題 解答

## 問 1

(1) ③

解説：
鋼(鋼鉄)は炭素含有率が非常に低く，弾性に富み，丈夫である。

(2) ②

解説：
酸化鉄(Ⅲ)$Fe_2O_3$ は，鉄の単体が湿った空気中で酸化されることで生じる赤褐色の酸化物である。

(3) ①

解説：
メッキのうち，鉄の表面を亜鉛で覆ったものをトタン，スズで覆ったものをブリキという。

(4) ③

解説：
鉄の単体に高温の水蒸気を吹き付けたり，バーナーで焼いたりすることで生じる黒色の酸化物(黒サビ)は，四酸化三鉄 $Fe_3O_4$ である。

(5) ②

解説：
ステンレス鋼は, Fe と Cr と Ni などからできた合金である。

## 問 2

(1)　③

解説：

$Fe^{2+}$を含む水溶液にヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム($K_3[Fe(CN)_6]$)水溶液を加えると，濃青色沈殿を生じる。

(2)　③

解説：

$Fe^{3+}$を含む水溶液にヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム($K_4[Fe(CN)_6]$)水溶液を加えると，濃青色沈殿を生じる。

(3)　②

解説：

$Fe^{3+}$を含む水溶液にチオシアン酸カリウム(KSCN)水溶液を加えると，血赤色の溶液に変化する。

# 第 15 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

(A) は酸化銅(Ⅱ)である。

(2)　②

解説：

(B) は塩化カルシウムで，(C) はソーダ石灰である。

(3)　②

解説：

この実験において (A) の酸化銅(Ⅱ)は不完全燃焼により生じる CO を $CO_2$ に変え，(B) の塩化カルシウムは中性乾燥剤として $H_2O$ を吸収し，(C) のソーダ石灰は酸性の気体である $CO_2$ を吸収する役割をしている。

(4)　④

解説：

C 原子の質量…$7.04\text{mg} \times \dfrac{12}{44} = 1.92\text{mg}$

H 原子の質量…$3.60\text{mg} \times \dfrac{2}{18} = 0.40\text{mg}$

O 原子の質量…$2.96\text{mg} - 1.92\text{mg} - 0.40\text{mg} = 0.64\text{mg}$

よって，

$$n_\text{C} : n_\text{H} : n_\text{O} = \frac{1.92}{12} : \frac{0.40}{1} : \frac{0.64}{16} = 4 : 10 : 1$$

となり，組成式は $C_4H_{10}O$ となる。

# 第 15 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
原子がもつ結合の手の数が原子価で，不対電子の数に相当する。

(2)　②

解説：
ホルムアルデヒド $CH_2O$ は，C 原子の周りにある電子対が 3 対なので，構造は正三角形である。

(3)　③

解説：
アセチレン $C_2H_2$ は，C 原子の周りにある電子対が 2 対なので，構造は直線である。

(4)　①

解説：
メタン $CH_4$ は，C 原子の周りにある電子対が 4 対なので，構造は正四面体である。

(5)　①

解説：
メタン $CH_4$ の H 原子 2 つを Cl 原子で置き換えた化合物は，正四面体のジクロロメタン $CH_2Cl_2$ の 1 種類のみである。

(6)　②

**解説：**

ベンゼンの炭素原子間の結合は，単結合と二重結合の中間的存在であるため，炭素原子間の結合の長さを長い順に並べると，C−C ＞ C$\overset{\cdots}{-}$C ＞ C＝C ＞ C≡C となる。

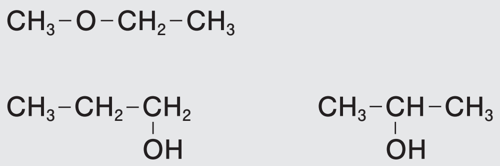
# 第 15 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

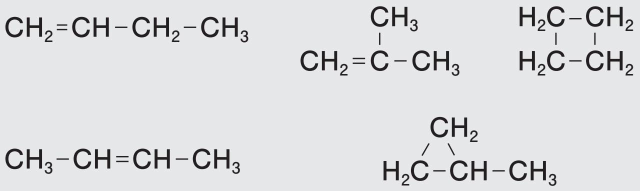
$C_3H_8O$ の構造異性体は，以下の 3 種類である。



(2)　③

解説：

$C_4H_8$ の構造異性体は，以下の 5 種類である。



(3)　③

解説：

$C_nH_{2n+2}$ の化合物は，官能基はもっていない。

(4)　①

解説：

①は C の数が 5 個で分子式は $C_5H_{12}O$，その他のものは，C の数が 4 個で分子式は $C_4H_{10}O$ である。よって，①は構造異性体の関係にない。

# 第 15 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：

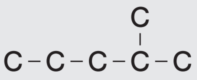
C 数 6 の鎖状 C 骨格で，主鎖 6 のものは以下の 1 種類のみである。

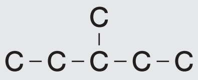
C−C−C−C−C−C

(2)　②

解説：

C 数 6 の鎖状 C 骨格で，主鎖 5 のものは以下の 2 種類である。

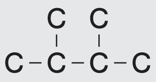


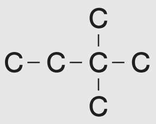


(3)　②

解説：

C 数 6 の鎖状 C 骨格で，主鎖 4 のものは以下の 2 種類である。





(4)　③

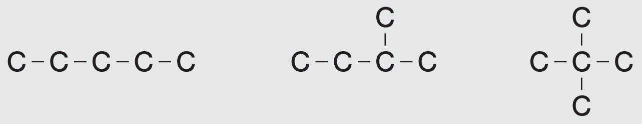
**解説：**

主鎖 6 のものが 1 種類，主鎖 5 のものが 2 種類，主鎖 4 のものが 2 種類存在するため，合計 5 種類の C 骨格が存在する。

(5)　②

**解説：**

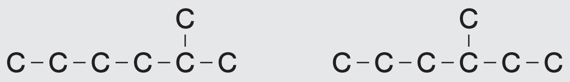
C 数 5 の鎖状の C 骨格は，以下の 3 種類である。



(6)　②

**解説：**

C 数 7 の鎖状の C 骨格のうち，主鎖 6 のものは，以下の 2 種類である。



# 第15講 PART5　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
A は C 骨格が同じ方に折れ曲がっているためシス形，B は C 骨格が異なる方に折れ曲がっているためトランス形である。

(2)　①

解説：
基本的に，シス形はトランス形に比べて極性が大きく，沸点が高い。

(3)　②

解説：
シス-トランス異性体(幾何異性体)は，原子団の空間配列が異なる立体異性体であり，構造異性体ではない。

(4)　③

解説：
③は C=C 結合の一方に $CH_3$ と H が，もう一方には $CH_3$ と $CH_2OH$ が結合していて，シス-トランス異性体が存在する。

# 第 15 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
C 原子 b は 4 つの異なる原子，または原子団と結合しているため，不斉炭素原子である。

(2)　④

解説：
④は 4 つの異なる原子，または，原子団と結合している C 原子(不斉炭素原子)を有するため，鏡像異性体(光学異性体)が存在する。

(3)　③

解説：
鏡像異性体（光学異性体）の関係にある化合物は，化学的な性質や物理的な性質はほとんど同じであるが，互いに光に対する性質（旋光性）は異なる。

(4)　②

解説：
1 つの不斉炭素原子に結合している原子または原子団のうち 2 つを入れ替えると，もとの物質の鏡像異性体になる。

# 第 16 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

（1）　②

解説：
炭化水素は，極性が小さいため，全て水に溶けにくい。C=C 結合や C≡C 結合をもたないものを，飽和炭化水素という。

（2）　②

解説：
炭素数 4 のアルカンなので，ブタンである。

（3）　③

解説：
主鎖が炭素数 6 のヘキサン，側鎖が炭素数 2 のエチル基，主鎖の近い方の末端から数えて 3 番目の C 原子に側鎖が付いているため，3-エチルヘキサンである。

（4）　④

解説：
メタンと塩素の混合物に光（紫外線）を照射すると，メタンの H 原子が塩素原子に置換し，クロロメタンが生成する。さらに置換反応が進行すると，ジクロロメタン，クロロホルムと反応が進み，最終的に四塩化炭素が生成する。

（5）　③

解説：
シクロアルカンの一般式は，$C_nH_{2n}$ である。

(6)　③

**解説：**

シクロアルカンは，5 員環以上のものが安定である。

# 第 16 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
炭素数が 3 以上のとき，アルケンとシクロアルカンは，構造異性体の関係にある。

(2)　①

解説：
炭素数 5 のアルケンで，近い方の末端から数えて 2 番目の結合が C＝C 結合なので，2- ペンテンである。

(3)　②

解説：
酸触媒下でエチレンに水を付加させると，以下のような化合物（エタノール）が生成する。

$CH_3-CH_2-OH$

(4)　③

解説：
アルケンの検出法に利用されるハロゲンは $Br_2$ で，$Br_2$ の赤褐色が付加後には消える。

(5)　①

解説：
ビニル基($CH_2=CH-$)をもつアルケンは，付加重合する。

# 第 16 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：
炭素数 4 のアルキンで，近い方の末端から数えて 2 番目の結合が C≡C 結合なので，2-ブチンである。

(2)　③

解説：
アセチレンに水を付加させると，不安定なビニルアルコール（化合物①）を経てアセトアルデヒド($CH_3CHO$)が生成する。

(3)　①

解説：
ベンゼンは，アセチレンが 3 分子重合したものである。

(4)　④

解説：
アセチレンをアンモニア性硝酸銀水溶液に通じると，AgC≡CAg の白色沈殿（銀アセチリド）が生じる。

(5)　③

解説：
アセチレンは，水と炭化カルシウム(カーバイド)を反応させることでつくることができる。

⑹　①

**解説：**

アセチレンは炭化水素で水に溶解しないので，水上置換法で捕集する。

# 第17講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
アルコールは分子間に水素結合を形成するため，互いに構造異性体で同じ分子量のアルコールとエーテルでは，アルコールの方がより沸点が高い。

(2)　③

解説：
炭素鎖に枝分かれがない炭素数 6 のアルコールで，近い方の末端から数えて 3 番目の C に－OH が結合しているため，3- ヘキサノールである。

(3)　①

解説：
アルコールに Na を加えると，水素が発生する。

(4)　③

解説：
エタノールに濃硫酸を加え，160 ～ 170℃で加熱すると，分子内脱水が起こり，エチレンが生成する。

(5)　①

解説：
2- プロパノールは第二級アルコールなので，二クロム酸カリウムで酸化すると，化合物①（アセトン）が生成する。

(6)　①

**解説：**

メチル基とプロピル基が結合しているエーテルで，アルキル基はアルファベット順に表記するので，メチルプロピルエーテルである。

# 第 17 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
アルデヒドは，ホルミル基−CHO をもち，代表的なものにホルムアルデヒド HCHO とアセトアルデヒド $CH_3CHO$ がある。

(2)　②

解説：
アセトアルデヒドは，エタノールを硫酸酸性の二クロム酸カリウム水溶液で穏やかに酸化することで得られる（実験室的製法)。

(3)　①

解説：
アセトアルデヒドは，エチレンを塩化パラジウム(Ⅱ)と塩化銅(Ⅱ)を触媒に用いて空気酸化しても得ることができ，これをヘキストワッカー法という（工業的製法)。

(4)　①

解説：
アンモニア性硝酸銀水溶液にアルデヒドを加えて加熱すると，銀が析出する（銀鏡反応)。

(5)　②

解説：
フェーリング液にアルデヒドを加えて加熱すると，酸化銅(Ⅰ)の赤色沈殿が生じる。

(6)　②

**解説：**
銀鏡反応やフェーリング液を還元する反応は，アルデヒドに還元性があることを利用した反応で，アルデヒドの検出に利用されている。

# 第 17 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

アセトンの示性式は $CH_3COCH_3$ で表され，正式な命名法では，プロパノンという。

(2)　④

解説：

ある特定の構造をもつ化合物に，$I_2$ と NaOHaq を加えて加熱すると，ヨードホルムが生成する。

(3)　④

解説：

ヨードホルム反応を示すのは，$CH_3COR$ または $CH_3CH(OH)R$（R は H 原子もしくはアルキル基）の構造をもつ化合物なので，④が該当する。

(4)　②

解説：

ヨードホルム反応では，ヨードホルムの黄色沈殿が生成する。

(5)　①

解説：

$CH_3COR$ または $CH_3CH(OH)R$（R は H 原子もしくはアルキル基）の構造をもつ化合物に，$I_2$ と NaOHaq を加えて加熱すると，ヨードホルム $CHI_3$ の黄色沈殿が生成する。

# 第17講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
ギ酸はホルミル基ーCHO をもつため，還元性を示す。

(2)　④

解説：
酢酸の示性式は $CH_3COOH$ で，ギ酸は HCOOH で表される。

(3)　③

解説：
カルボン酸が炭酸水素ナトリウムと反応すると，二酸化炭素が発生する(カルボン酸の検出法)。

(4)　①

解説：
酢酸は，2 分子でそれぞれのカルボキシ基間において脱水を起こし，1 分子の酸無水物(無水酢酸)を生成する。マレイン酸とフタル酸は分子内で脱水が起こる。

(5)　②

解説：
カルボン酸とアルコールが縮合して，エステルを生成する(エステル化)。

(6)　①

解説：
酢酸ナトリウムと水酸化ナトリウムの混合物を加熱すると，以下のように反応が進む。
$CH_3COONa + NaOH \rightarrow Na_2CO_3 + CH_4$

(7)　①

解説：
カルボン酸は分子間に水素結合を形成する。そのため，互いに異性体の関係にあるカルボン酸とエステルでは，カルボン酸のほうが，沸点が高い。

# 第17講　PART5　確認問題　解答

## 問1

(1)　③

解説：
酢酸エチルは酢酸 $CH_3COOH$ とエタノール $C_2H_5OH$ からなるエステルで，その示性式は，$CH_3COOC_2H_5$ で表される。

(2)　①

解説：
エステルに水と少量の酸を加えて加熱すると，カルボン酸とアルコールが生成する（エステルの加水分解）。

(3)　②

解説：
NaOH などの塩基を用いた加水分解を，けん化という。

(4)　②

解説：
$CH_3COOCH_3$ を NaOH でけん化したときに生成する化合物は，$CH_3COONa$ と $CH_3OH$ である。

# 第 17 講　PART6　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

油脂は，問題の構造において，$R_1 \neq R_3$ のときに不斉炭素原子をもつ。

(2)　③

解説：

リノレン酸は，C 数 18 で C=C 結合を 3 つもつ。

(3)　③

解説：

油脂を NaOH や KOH でけん化すると，グリセリンとセッケン（高級脂肪酸のナトリウム塩やカリウム塩）が生成する。

(4)　④

解説：

油脂 1 分子はエステル結合を 3 つもつので，

油脂の物質量 mol：NaOH の物質量 mol ＝ 1：3 より，

油脂の分子量を $M$ とすると，以下の式が成り立つ。

$$\frac{3.7}{M} : \frac{500\times10^{-3}}{40} = 1 : 3$$

よって，$M = 888$ となり，油脂の分子量は 888 となる。

(5)　③

解説：

液体の油脂に $H_2$ を付加して固体に変えたものを硬化油といい，例としてマーガリンがある。

# 第 17 講　PART7　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：
セッケン分子は，液面では疎水基を空気中に，親水基を水中に向けて並ぶ。また，水中では疎水基を内側に，親水基を外側に向けてミセルを形成する。

(2)　③

解説：
セッケンは高級脂肪酸（弱酸）と NaOH や KOH（強塩基）からなる塩なので，加水分解により塩基性を示す。

(3)　①

解説：
セッケンは，硬水（$Ca^{2+}$や $Mg^{2+}$を多く含む水）中で沈殿をつくるため，洗浄力が低下する。

(4)　④

解説：
代表的な合成洗剤には，④の構造の高級アルコール系と，③の構造の ABS（アルキルベンゼンスルホン酸）系がある。

(5)　②

解説：
合成洗剤は強酸と強塩基からなる塩なので，水溶液は中性を示す。

⑹　②

**解説：**

合成洗剤の水溶液は中性を示すので，絹や羊毛などの動物性繊維の洗浄に適している。

# 第18講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1) ③

解説：
ベンゼンの二置換体は，オルト，メタ，パラの 3 種類が存在する。

(2) ②

解説：
ベンゼンに濃硫酸を加えて加熱すると，ベンゼンスルホン酸が生成する。

(3) ②

解説：
ベンゼンに混酸（濃硝酸と濃硫酸の混合物）を加えて約 60℃で反応させると，ニトロベンゼンが生成する。

(4) ②

解説：
ベンゼンへの付加反応が進行するためには，3 分子が同時に付加する必要がある。

(5) ④

解説：
アルキルベンゼンに過マンガン酸カリウムを中性下で加えて加熱すると，アルキル基が酸化されてカルボキシ基に変化する。

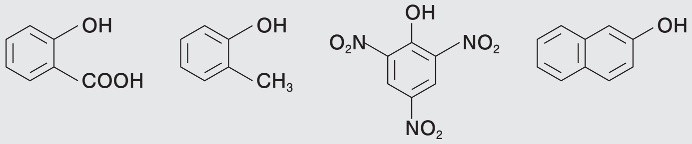
# 第 19 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：

サリチル酸　*o*-クレゾール　ピクリン酸　2-ナフトール




(2)　④

解説：

フェノール類に塩化鉄(Ⅲ)水溶液を加えると，青～紫に呈色する。

(3)　②

解説：

①，③はフェノール類のみに該当する性質で，②はアルコールとフェノール類で共通する性質である。

(4)　②

解説：

カルボン酸，フェノール，炭酸，スルホン酸を酸の強さが強い順に並べると，以下のようになる。

　スルホン酸 ＞ カルボン酸 ＞ 炭酸 ＞ フェノール

(5)　②

解説：

フェノールの置換反応が進行しやすいのは，オルト位とパラ位である(オルト・パラ配向性)。

⑹　②

**解説：**
フェノールは無水酢酸と反応すると，フェノール性ヒドロキシ基の H 原子がアセチル基 $CH_3CO-$に変化する（アセチル化）。

# 第19講　PART2　確認問題　解答

## 問1

（1）④

解説：
ベンゼンスルホン酸ナトリウムを固体の水酸化ナトリウムと一緒に加熱し融解させる操作を，アルカリ融解という。ベンゼンスルホン酸ナトリウムを固体の水酸化ナトリウムと一緒に加熱し融解させると，ナトリウムフェノキシドが生じる。

（2）④

解説：
クロロベンゼンを高温・高圧で水酸化ナトリウム水溶液と反応させると，ナトリウムフェノキシドが生成する。さらに強酸を加えると，弱酸のフェノールが遊離する。

（3）③

解説：
クメン法では副産物として，アセトンが生じる。

（4）②

解説：
塩化ベンゼンジアゾニウムの水溶液を加熱すると，フェノールとともに窒素が発生する。

（5）④

解説：
サリチル酸ナトリウムは，ナトリウムフェノキシドに二酸化炭素を高温・高圧で反応させることで得られる。

# 第 20 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1) ③

解説：

アニリンは芳香族アミンなので，塩基性を示す。

(2) ②

解説：

アニリンにさらし粉水溶液を加えると，赤紫色に呈色する。

(3) ②

解説：

アニリンと酢酸から生じるアミドを，アセトアニリドという。

## 問 2

(1) ④

解説：

アニリンに塩酸と亜硝酸ナトリウムを加えて反応させると，塩化ベンゼンジアゾニウムが生成する(ジアゾ化)。

(2) ④

解説：

塩化ベンゼンジアゾニウムは 5℃以上だとフェノールに変化してしまうため，ジアゾ化とカップリング(ジアゾカップリング)は冷却しながらおこなう。

(3)　④

**解説：**
冷却しながら塩化ベンゼンジアゾニウムとナトリウムフェノキシドを反応させると，*p*-フェニルアゾフェノール(*p*-ヒドロキシアゾベンゼン)が生成する(ジアゾカップリング)。

(4)　③

**解説：**
アニリンは，ニトロベンゼンを還元してつくる。

# 第 21 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

4 つの芳香族化合物を含むエーテル層に HClaq を加えると，アニリンが塩酸塩となって水層に溶解する（水層①）。この水層に NaOHaq を加えると，弱塩基遊離反応によってアニリンが遊離し，アニリンがエーテル層に溶解する（エーテル層②）。

(2)　④

解説：

エーテル層①にはニトロベンゼン，フェノール，安息香酸が溶解している。このエーテル層に $NaHCO_3$aq を加えると，炭酸より強い酸である安息香酸が反応し，ナトリウム塩，つまり安息香酸ナトリウムとなって水層に溶解する（水層③）。この水層に HClaq を加えると，弱酸遊離反応によって安息香酸が遊離し，安息香酸がエーテル層に溶解する（エーテル層④）。

(3)　①

解説：

エーテル層③にはニトロベンゼン，フェノールが溶解している。このエーテル層に NaOHaq を加えると，フェノールがナトリウム塩となって水層に溶解し(水層⑤)，エーテル層にはニトロベンゼンが残る（エーテル層⑤）。よって，エーテル層⑤にはニトロベンゼンが含まれている。

⑷　②

**解説：**

水層⑤には，フェノールのナトリウム塩（ナトリウムフェノキシド）が溶解している。この水層に HClaq を加えると，弱酸遊離反応によってフェノールが遊離し，エーテル層に溶解する（エーテル層⑥）。

⑸　①

**解説：**

一般的な有機溶媒は水より軽いので，上層になる。

# 第 22 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
グルコースは分子式 $C_6H_{12}O_6$ で表され，分子量は 180 である。

(2)　①

解説：
O を右奥に配置した六員環の，一番右の C 原子に結合している－OH が下を向いているので，記載のグルコースの構造は $\alpha$ 型である。

(3)　②

解説：
グルコースの鎖状構造にはホルミル基が存在するため，グルコースの水溶液は還元性を示す。

(4)　③

解説：
グルコースの水溶液にチマーゼという酵素を加えると，エタノールと二酸化炭素が生成する（アルコール発酵）。

## 問 2

(1)　②

解説：
2 番目の C 原子に結合している－OH が上を向いていて，五員環なので，記載のフルクトースの構造は $\beta$ 型（五員環）である。

⑵　②

**解説：**
鎖状のフルクトースは，水中でホルミル基をもつ構造と平衡状態になっているため，フルクトースの水溶液は還元性を示す。

# 第 22 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

主な二糖類は分子式 $C_{12}H_{22}O_{11}$ で表され，分子量は 342 である。

(2)　①

解説：

マルトースの構成単糖は，$\alpha$-グルコースと $\alpha$-または $\beta$-グルコースである。

(3)　③

解説：

スクロースは，$\alpha$-グルコースと $\beta$-フルクトース(五員環)が 1,2 結合した二糖である。

(4)　②

解説：

セロビオースは，$\beta$-グルコースと $\alpha$-または $\beta$-グルコースが 1,4 結合した二糖である。

(5)　②

解説：

スクロースをインベルターゼ(スクラーゼ)で加水分解すると，グルコースとフルクトースの等量混合物(転化糖)が得られる。

⑹　②

**解説：**

スクロースはヘミアセタール構造をもたないので，水中で開環することはなく，水溶液は還元性を示さない。

# 第 22 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　④

解説：
多糖類に還元性はないため，フェーリング液を加えても変化しない。

(2)　②

解説：
アミロペクチンは $\alpha$-グルコースが 1,4 結合と 1,6 結合でつながったもので，枝分かれのあるらせん構造をしている。

(3)　①

解説：
アミロースは，ヨウ素デンプン反応で青色を呈する。

(4)　②

解説：
加熱するとヨウ素デンプン反応の呈色はなくなるが，冷却すると元の呈色が見られる。

⑸　③

解説：

デンプン$(C_6H_{10}O_5)_n$ を加水分解してグルコース $C_6H_{12}O_6$ が生成する反応は，以下のように表される。

$$(C_6H_{10}O_5)_n + n\ H_2O \rightarrow n\ C_6H_{12}O_6$$

上式より，デンプン 1mol が加水分解されると $n$(mol)のグルコースが生成することがわかる。デンプンの分子量は $162n$ なので, 生成するグルコース（分子量 180）の質量は,

$$180 \times \frac{27}{162n} \times n = 30\ \mathrm{g}$$

となる。

# 第 22 講　PART4　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

セルロースは$\beta$-グルコースが 1,4 結合のみでつながったもので，直線状の構造であり，らせん構造ではないため，ヨウ素デンプン反応を示さない。

(2)　④

解説：

セルロースをシュバイツァー試薬(水酸化銅(Ⅱ)を濃アンモニア水に溶解させたもの)に溶解させ，その溶液を希酸の中に押し出して再生したものを，銅アンモニアレーヨンという。

(3)　②

解説：

コロジオンは，ニトロセルロースに分類される。

(4)　③

解説：

セルロース $(C_6H_{10}O_5)_n$ を加水分解してセロビオース $C_{12}H_{22}O_{11}$ が生成する反応は，以下のように表される。

$$(C_6H_{10}O_5)_n + \frac{n}{2} H_2O \rightarrow \frac{n}{2} C_{12}H_{22}O_{11}$$

上式より，セルロース 1mol が加水分解されると$\frac{n}{2}$ (mol) のセロビオースが生成することがわかる。セルロースの分子量は 162$n$ なので，生成するセロビオース(分子量 342)の質量は　$342 \times \frac{34.2}{162n} \times \frac{n}{2} = 36.1\text{g}$　となる。

# 第 23 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：

側鎖が H 原子のグリシン以外は，不斉炭素原子をもつ。

(2)　①

解説：

図のアミノ酸はアスパラギン酸であり，側鎖に－COOH があるため，酸性アミノ酸である。

(3)　④

解説：

アミノ酸の結晶は，双性イオンからなるイオン結晶である。

(4)　②

解説：

グルタミン酸は等電点が pH ＝ 3.2 であるので，水溶液を pH ＝ 5 にすると負に帯電する。

(5)　③

解説：

等電点の水素イオンのモル濃度は $[H^+]=\sqrt{K_1 \cdot K_2}$ で表されるので，等電点におけるアラニンの水素イオンのモル濃度は，

$$[H^+]=\sqrt{5.0\times10^{-3}(\mathrm{mol/L})\cdot2.0\times10^{-10}(\mathrm{mol/L})}$$
$$=1.0\times10^{-6}(\mathrm{mol/L})$$

となる。よって，アラニンの等電点の pH は

$$\mathrm{pH}=-\log(1.0\times10^{-6})=6.0$$

となる。

(6)　②

**解説：**
アミノ酸にニンヒドリン水溶液を加えて温めると，赤紫～青紫に呈色する。

# 第 23 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：
トリペプチドは，3 つのアミノ酸が脱水縮合しペプチド結合でつながったものなので，ペプチド結合は 2 個存在する。

(2)　①

解説：
タンパク質を構成するアミノ酸は，約 20 種類ある。

(3)　③

解説：
タンパク質の二次構造である $\alpha$-ヘリックス構造や $\beta$-シート構造を保持しているのは，水素結合である。

(4)　③

解説：
キサントプロテイン反応は，側鎖にベンゼン環をもつアミノ酸が含まれたタンパク質に対して，陽性を示す反応である。

(5)　①

解説：
球状タンパク質の多くは，水に可溶である。

⑹　④

**解説：**

ビウレット反応は，トリペプチド以上のタンパク質に水酸化ナトリウム水溶液と硫酸銅(Ⅱ)水溶液を加えると，赤紫に呈色する反応である。

# 第 23 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

(1)　③

解説：
酵素の最適温度は，40℃前後である。

(2)　②

解説：
酵素は最適温度を超えると変性により失活するため，反応速度が小さくなる。

(3)　②

解説：
最適 pH が 2 付近の酵素は，ペプシンである。

(4)　①

解説：
基質の濃度が小さいとき，基質に対して酵素が充分にあるため，酵素反応の反応速度は基質の濃度に比例する。

(5)　③

解説：
基質の濃度が大きいとき，基質に対して酵素が不足するため，酵素反応の反応速度は基質の濃度によらず一定になる。

(6)　③

解説：
酵素はタンパク質であるので，酸や塩基を加えると変性により失活する。

# 第 24 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　②

解説：

核酸は，リン酸・五炭糖・塩基から構成されている。

(2)　②

解説：

リン酸・五炭糖・塩基からなる核酸のくり返し単位を，ヌクレオチドという。

(3)　②

解説：

アデニン(A)とチミン(T)間の水素結合の数は 2 本で，グアニン(G)とシトシン(C)の間の水素結合の数は 3 本である。

(4)　④

解説：

RNA を構成する塩基は A・G・C・U(ウラシル)で，DNA を構成する塩基は A・G・C・T(チミン)である。よって，T が異なる。

(5)　①

解説：

アデニンが 30%より，相補的な関係にあるチミンも 30%となる。よって，シトシンは

$$(100 - 30 \times 2) \div 2 = 20\%$$

となる。

# 第 25 講　PART1　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：
図のモノマーは，水などの小さな分子が外れて，縮合しながら重合していく。このことを，縮合重合という。

(2)　②

解説：
網目状の樹脂は，基本的に熱硬化性を有する。

(3)　②

解説：
メタクリル樹脂は，ビニリデン系の合成樹脂に該当する。

(4)　②

解説：
ポリビニルアルコールをアセタール化してビニロンを得る際には，ポリビニルアルコールのヒドロキシ基の 30 ～ 40% がアセタール化される。

(5)　①

解説：
スチロール樹脂はビニル系の合成樹脂であり，透明容器や日用品などに使われる。

(6)　③

**解説：**
ビニロンは日本で開発された木綿に似た繊維で，吸湿性や強度に優れるためロープや作業着に利用されている。

(7)　①

**解説：**
ポリ酢酸ビニルを水酸化ナトリウムを用いてけん化すると，ポリビニルアルコール(PVA)が得られる。

# 第 25 講　PART2　確認問題　解答

## 問 1

(1)　①

解説：

イソプレンの 1,4付加の重合体のうち，弾性をもつのはシス形である。

(2)　①

解説：

天然ゴムに 5 ～ 8% の硫黄を加えて加熱すると，架橋構造がつくられ，弾性や強度の増したゴムになる。

(3)　②

解説：

アクリロニトリルブタジエンゴム(NBR)は，極性をもつシアノ基$-C \equiv N$を有しているため，石油などの無極性物質に対する耐性が強い。

(4)　①

解説：

イオン交換樹脂は，スチレンと約 10% の $p$-ジビニルベンゼンの共重合体に，置換反応で官能基$-X$を導入して合成する。

(5)　③

解説：

陰イオン交換樹脂に塩化ナトリウム水溶液を流し込むと，陰イオン交換樹脂の $OH^-$と水溶液の陰イオン($Cl^-$)が交換され，水酸化ナトリウム水溶液が流出する。

(6)　③

**解説：**

水道水を陽イオン交換樹脂と陰イオン交換樹脂に通じると，水道水中の陽イオンは $H^+$ に，陰イオンは $OH^-$ に交換され，脱イオン水が得られる。

# 第 25 講　PART3　確認問題　解答

## 問 1

⑴　④

解説：
テレフタル酸とエチレングリコールの縮合重合によって合成される繊維は，ポリエチレンテレフタラートである。

⑵　①

解説：
ε-カプロラクタムの開環重合によって得られる繊維は，ナイロン 6 である。

⑶　②

解説：
アジピン酸とヘキサメチレンジアミンの縮合重合によって得られる繊維は，ナイロン 66 である。

⑷　③

解説：
フェノール樹脂は，フェノールとホルムアルデヒドの付加縮合によって合成される樹脂である。

⑸　②

解説：
フェノール樹脂を合成するとき，酸触媒を用いると直鎖状のノボラックが，塩基触媒を用いると網目状のレゾールが，中間体として生じる。

(6)　④

**解説：**

ナイロンは合成繊維で，分子間に水素結合を形成するため強度が大きく，しわになりにくい性質をもつ。

Ⓒ RECRUIT
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。